

WILLIAM CARLOS GONZAGA FRANCO

**METODOLOGIAS DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO NA PÓS-
COLHEITA 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

Orientador: José Antônio Saraiva Grossi

Coorientadores: Leonardo Duarte Pimentel

Paulo Roberto Cecon

Mirelle Nayana Souza

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2024

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F825m
2024 Franco, William Carlos Gonzaga, 1990-
Metodologias de secagem e armazenamento na pós-colheita de
frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) / William Carlos Gonzaga
Franco. - Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (84 f.): il.

Orientador: José Antonio Saraiva Grossi.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Agronomia, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.298>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Macaúba - Secagem. 2. Macaúba - Efeito da acidez dos solos.
3. Oxidação. 4. Óleos vegetais. 5. Macaúba - Fisiologia pós-colheita -
Qualidade. I. Grossi, José Antonio Saraiva, 1966-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 634.974

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

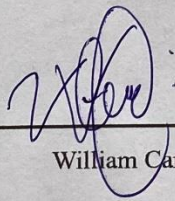
WILLIAM CARLOS GONZAGA FRANCO

METODOLOGIAS DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO NA PÓS-COLHEITA 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

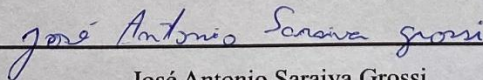
Aprovada em 27/06/2024

Assentimento:



William Carlos Gonzaga Franco

Autor



José Antonio Saraiva Grossi

Orientador

“Procurai suportar com ânimo tudo aquilo que precisa ser feito”. Sócrates

Ao meu avô Benedito (in memoriam) pelo exemplo de ser humano.

À minha avó Efigênia (in memoriam) pelo mais singelo amor.

Aos meus pais, Nilza e Luiz, por nunca duvidarem que eu chegaria até aqui.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Eu nunca imaginei que chegar até aqui seria tão difícil, entretanto, quanto maior a batalha maior a vitória.

Muitos foram fundamentais neste tortuoso caminho, mas sem Deus no coração, nada disso seria possível. A ele agradeço a oportunidade de estar vivo.

Aos meus pais, Nilza e Luiz agradeço por tudo, sem eles, definitivamente eu não teria chegado a lugar algum.

Aos meus avós Benedito e Efigênia (*in memoriam*) pelo amor incondicional e à minha avó Antônia por me ensinar a olhar a vida com doçura.

Ao meu irmão, Luiz Gustavo, pela vida compartilhada.

Ao meu orientador, José Antonio, não só pelo conhecimento compartilhado, mas pela amizade adquirida ao longo dessa jornada.

Ao meu maior presente, Jordan, por sempre me lembrar que eu sou capaz mesmo quando nem eu mesmo acreditava.

Ao meu amigo de todos os momentos, Felipe, não só por ter compartilhado esse árduo caminho comigo, mas também pelo apoio emocional e trabalho braçal.

À minha grande amiga de longa data, Valcivia Elaine, por não ter saído do meu lado por nem um momento.

Aos meus irmãos de alma, Denis e Maurício. Sem vocês eu não chegaria nem na metade do caminho.

Ao ser humano mais incrível que o universo poderia me presentear. Josiane é um prazer inenarrável dividir essa caminhada contigo.

À minha amiga e melhor astróloga, Amana, por ser força quando eu fui fraqueza.

Aos companheiros desta longa jornada, que se fizeram presentes mesmo distantes. Minha eterna gratidão a Toshik, Hugo, Josué, Luís, Kaká, Lucas, Ygor e Thiago.

Às minhas garotas que nem por um segundo deixaram de torcer por mim. Thamires, Sandrinha, Dani, Thaís, Cássia, Camila, Luana, Andressa, Rafa e Ana Flávia vocês estarão no meu coração para sempre.

Ao PPGFIT e ao DEF por construírem o profissional que sou. A UFV por me permitir fazer parte desta grande história.

Aos meus coorientadores, Leonardo, Cecon e Mirelle, por contribuírem para a realização de um sonho.

À S.Oleum por ter acreditado no projeto.

Às agências de fomento, CAPES, CNPq e FAPEMIG não só pelas bolsas, mas por não desistirem da pesquisa brasileira nos momentos mais sombrios. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço também ao Projeto AcroAlliance (FINEP / MCTI 01.21.0177.00, ref.: 0566/21) por acreditar e investir na domesticação da macaúba.

À cidade de Viçosa por ter sido minha casa nestes últimos 14 anos.

A todos que cruzaram meu caminho nessa longa jornada. Tudo acontece por algum motivo.

” No fim, é sobre chegar ao topo do mundo e saber que venceu, é sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu, é sobre ser abrigo e também ter morada em outros corações, e assim ter amigos contigo em todas as situações”. Ana Vilela.

Minha mais profunda gratidão.

RESUMO

FRANCO, William Carlos Gonzaga, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2024. **Metodologias de secagem e armazenamento na pós-colheita de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. Orientador: José Antonio Saraiva Grossi. Coorientadores: Leonardo Duarte Pimentel, Paulo Roberto Cecon e Mirelle Nayana Souza.

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa do cerrado brasileiro que vem despertando interesse do setor agroindustrial pela elevada produtividade de óleo por ha e pelo sistema de cultivo que resulta em sequestro de carbono. Os óleos extraídos tanto da polpa quanto da amêndoa dos frutos apresentam características que os permitem ser utilizados na alimentação humana, na produção de biocombustíveis e nas indústrias de cosméticos e fármacos. Para que todo seu potencial seja explorado comercialmente algumas lacunas precisam ser preenchidas, entre elas o processo de pós-colheita. O óleo da macaúba apresenta elevada perecibilidade, por isso, necessita de rápido processamento. Adicionalmente, a colheita é realizada apenas uma vez ao ano durante os meses de novembro a março a depender da região. Estes fatores em conjunto elevam os custos para a instalação de indústrias de processamento de macaúba que precisam estar preparadas para o rápido processamento dos frutos após a colheita e ainda resultarem em ociosidade em parte do ano. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar diferentes tecnologias de secagem e armazenamento e seus efeitos na qualidade do óleo na intenção de prolongar pelo máximo período de tempo a vida útil dos óleos extraídos da polpa da macaúba. Desta forma, este trabalho foi dividido em três capítulos. No primeiro avaliou-se o efeito da secagem em estufa com circulação forçada de ar a 50°C e armazenamento em diferentes condições de umidade. Os frutos foram colhidos diretamente no cacho, selecionados e sanitizados. Após a sanitização, os frutos passaram por um período de maturação de 15 dias. Decorrido este tempo, os frutos foram secos até as umidades de 20, 18, 15, 12 e 10% e armazenados sob condições ambiente por até 240 dias. A análise da qualidade do óleo se deu através das variáveis índice de acidez (IA), estabilidade oxidativa (EO) e teor de óleo (TO). Foi observado que frutos armazenados com maior teor de umidade perdem a viabilidade mais rapidamente e que a secagem a 50°C não foi eficiente em manter a qualidade do óleo dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA por longos períodos de tempo, mas foi capaz de diminuir drasticamente a velocidade de deterioração do óleo, principalmente em relação ao índice de acidez. No segundo capítulo, os frutos foram colhidos diretamente no cacho, transportados, selecionados e sanitizados. Após estes processos, os frutos foram secos em secador vertical com circulação forçada

de ar e temperatura ambiente até alcançarem as umidades de 16 e 12%. Após, eles foram armazenados em condições ambientais por até 190 dias. Esses tratamentos não demonstraram eficácia em preservar a qualidade do óleo por um período suficiente. No entanto, observou-se uma desaceleração na taxa de degradação. O índice de acidez apresentou valores superiores a 5% desde o tempo zero de armazenamento e a estabilidade oxidativa se manteve acima das 6 horas recomendadas pela ANP por oito dias se armazenados a 12% de umidade e, por quatro dias se armazenados a 16%. Notou-se um acúmulo de óleo até os 92 dias de armazenamento, sendo o acúmulo mais significativo nos frutos armazenados com 16% de umidade. No terceiro capítulo, os frutos de macaúba foram colhidos diretamente do cacho, foram transportados, selecionados e sanitizados. Posteriormente, foram submetidos a uma secagem a baixa temperatura em um secador vertical com circulação forçada de ar e temperatura ambiente até alcançarem um teor de umidade de 2%. Uma vez que atingiram esse nível de umidade, os frutos foram armazenados no mesmo ambiente onde ocorreu a secagem, simulando um sistema de silo secador-armazenador. A avaliação da qualidade do óleo envolveu análises do índice de acidez, estabilidade oxidativa e teor de óleo. Os resultados do índice de acidez foram satisfatórios, mantendo-se em níveis aceitáveis para consumo humano até os seis meses de armazenamento. Quanto à estabilidade oxidativa, o óleo manteve-se dentro dos parâmetros adequados para a indústria de biocombustíveis por aproximadamente 17 dias. Em relação ao teor de óleo, diferentes padrões foram observados, enquanto o período de secagem não demonstrou significativa influência, o período de armazenamento teve um impacto negativo no acúmulo de óleo. Portanto, conclui-se que os frutos armazenados no silo secador-armazenador se mantiveram viáveis pelo maior tempo. Logo, este tratamento é recomendado para frutos de macaúba destinados a produção de biocombustíveis à alimentação humana, bem como para uso nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos. Concluímos que a secagem a baixa temperatura seguida de armazenamento nas mesmas condições de secagem foi a técnica mais efetiva na manutenção da qualidade do óleo de macaúba por maiores períodos de tempo.

Palavras-chave: Acidez; Oxidação; Óleo Vegetal; Qualidade; Tecnologia; Temperatura; Umidade.

ABSTRACT

FRANCO, William Carlos Gonzaga, D.Sc., Federal University of Viçosa, June 2024. **Drying and Storage Methodologies in the Post-Harvest of Macaúba Fruits (*Acrocomia aculeata*)**. Advisor: José Antonio Saraiva Grossi. Co-advisors: Leonardo Duarte Pimentel, Paulo Roberto Cecon, and Mirelle Nayana Souza.

The macaúba (*Acrocomia aculeata*) is a palm tree native to the Brazilian cerrado that has been attracting interest from the agribusiness sector due to its high oil productivity per hectare and its cultivation system, which results in carbon sequestration. The oils extracted from both the pulp and the kernel of the fruits have characteristics that allow them to be used in human food, biofuel production, and the cosmetics and pharmaceutical industries. In order for its full potential to be commercially exploited, some gaps need to be filled, including the post-harvest process. Macaúba oil is highly perishable and requires rapid processing. Additionally, harvesting is only done once a year during the months of November to March depending on the region. These factors together increase the costs for installing macaúba processing industries, which need to be prepared for the rapid processing of fruits after harvesting and may result in idle periods during part of the year. Therefore, the objective of this work was to study different drying and storage technologies and their effects on oil quality in order to prolong the shelf life of oils extracted from macaúba pulp for as long as possible. Thus, this work was divided into three chapters. In the first, the effect of drying in a forced-air oven at 50°C and storage under different humidity conditions was evaluated. The fruits were harvested directly from the bunch, selected, and sanitized. After sanitation, the fruits underwent a ripening period of 15 days. After this time, the fruits were dried to moisture levels of 20, 18, 15, 12, and 10% and stored under ambient conditions for up to 240 days. Oil quality analysis was carried out through the variables of acidity index (AI), oxidative stability (OS), and oil content (OC). It was observed that fruits stored with higher moisture content lost viability more rapidly and that drying at 50°C was not efficient in maintaining oil quality within the standards established by ANVISA for long periods of time but was able to drastically decrease the rate of oil deterioration, especially in terms of acidity index. In the second chapter, the fruits were harvested directly from the bunch, transported, selected, and sanitized. After these processes, the fruits were dried in a vertical dryer with forced air circulation and room temperature until reaching moisture levels of 16 and 12%. Afterward, they were stored under ambient conditions for up to 190 days. These treatments did not demonstrate efficacy in preserving oil quality for a sufficient period.

However, a deceleration in the degradation rate was observed. The acidity index showed values above 5% from the zero time of storage, and oxidative stability remained above the 6 hours recommended by ANP for eight days when stored at 12% moisture and for four days when stored at 16%. An oil accumulation was noted up to 92 days of storage, with the most significant accumulation in fruits stored with 16% moisture. In the third chapter, macaúba fruits were harvested directly from the bunch, transported, selected, and sanitized. Subsequently, they were subjected to low-temperature drying in a vertical dryer with forced air circulation and room temperature until reaching a moisture content of 2%. Once this moisture level was reached, the fruits were stored in the same environment where drying occurred, simulating a dryer-silo storage system. The evaluation of oil quality involved analyses of acidity index, oxidative stability, and oil content. The acidity index results were satisfactory, remaining at acceptable levels for human consumption for up to six months of storage. Regarding oxidative stability, the oil remained within the appropriate parameters for the biofuel industry for approximately 17 days. As for oil content, different patterns were observed; while the drying period did not show a significant influence, the storage period had a negative impact on oil accumulation. Therefore, it is concluded that fruits stored in the dryer-silo storage system remained viable for a longer period. Hence, this treatment is recommended for macaúba fruits destined for biofuels production, human consumption as well as for use in pharmaceutical and cosmetic industries. We concluded that low-temperature drying followed by storage under the same drying conditions was the most effective technique for maintaining the quality of macaúba oil over longer periods of time.

Keywords: Acidity; Oxidation; Vegetable Oil; Quality; Technology; Temperature; Humidity.

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 13 |
| 1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 21 |
| 2. Capítulo 1: Influência do teor de umidade na pós-colheita de frutos de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>) | 26 |
| RESUMO | 27 |
| ABSTRACT | 28 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 29 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODOS | 30 |
| 2.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba | 30 |
| 2.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos | 31 |
| 2.2.3 Período de Maturação | 31 |
| 2.2.4 Secagem | 31 |
| 2.2.5 Armazenamento | 32 |
| 2.2.6 Extração do óleo de macaúba | 32 |
| 2.2.7 Planejamento Fatorial | 32 |
| 2.2.8 Análises laboratoriais | 34 |
| 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 2.3.1 Resultados pré-secagem | 35 |
| 2.3.2 Resultados pós-secagem | 36 |
| 2.4 CONCLUSÃO | 41 |
| 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 41 |
| 3. Capítulo 2: Qualidade pós-colheita de frutos de macaúba submetidos a secagem a baixa temperatura e armazenados sob umidade controlada | 46 |
| RESUMO | 47 |
| ABSTRACT | 48 |
| 3.1 INTRODUÇÃO | 49 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS | 50 |
| 3.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba | 50 |
| 3.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos | 51 |
| 3.2.3 Secagem dos frutos | 51 |
| 3.2.4 Armazenamento | 52 |
| 3.2.5 Extração do óleo de macaúba | 53 |
| 3.2.6 Análises Laboratoriais | 53 |
| 3.2.7 Análise Estatística | 54 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 55 |
| 3.4 CONCLUSÃO | 60 |
| 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS | 60 |
| 4. Capítulo 3: Simulação de um silo secador-armazenador na qualidade pós-colheita de frutos de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)..... | 64 |
| RESUMO | 65 |
| ABSTRACT | 66 |
| 4.1 INTRODUÇÃO | 67 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS | 68 |
| 4.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba | 68 |
| 4.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos de Macaúba..... | 69 |
| 4.2.3 Secagem e Armazenamento | 69 |
| 4.2.4 Extração do óleo | 71 |
| 4.2.5 Análises Laboratoriais | 71 |
| 4.2.6 Análise Estatística..... | 73 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 73 |
| 4.3.1 Ensaio I..... | 73 |
| 4.3.2 Ensaio II | 77 |
| 4.4 CONCLUSÃO | 80 |
| 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 80 |
| 5. CONCLUSÃO GERAL | 84 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

As estimativas da FAO (2015), mostraram que atualmente 795 milhões de pessoas são afetadas pela fome e pela má nutrição e que a população mundial chegará a 9,7 bilhões de pessoas em 2050. Esses fatos revelam a necessidade de aumentar em 86% a produção de alimentos até 2050, evidenciando uma necessária mudança nos nossos atuais modelos de produção (KRUSE, 2010).

Somado a isso, o mundo vem enfrentando problemas para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis, demandando um aumento considerável na produção e na diversificação das fontes oleaginosas para a produção de biocombustíveis (SARI, 2015).

De fato, há um paradoxo mundial que ameaça a vida no planeta: o aumento da produção de alimentos e a diminuição do uso de combustíveis fósseis. Para a minimização das emissões de gases do efeito estufa causadas pela queima de combustíveis fósseis é necessária uma maior produção de biocombustíveis, que conseqüentemente pode acarretar em uma menor área disponível para a produção de alimentos. Então, uma possível solução é encontrar espécies que apresentem usos tão diversificados, que consigam atender tanto ao setor alimentício quanto ao setor de biocombustíveis.

Neste contexto, a macaúba [(*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart)], vem despertando interesse do setor agroindustrial por apresentar elevada produção de óleo e farelos proteicos por unidade de área cultivada. Trata-se de uma palmeira nativa encontrada em quase todos os biomas brasileiros (LEITMAN et al., 2018), com destaque para o Cerrado, ocorrendo naturalmente nos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Ceará e Goiás (REVELLO, 2014). A

macaúba apresenta amplo espectro de utilização podendo ser utilizada para a alimentação humana (AGUIEIRAS et al., 2014; FERREIRA et al., 2013), na produção de biodiesel (EVARISTO et al., 2016a), na indústria de cosméticos e fármacos (NOBRE et al., 2014), e na geração de energia (EVARISTO et al., 2016b).

A macaúba é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, também conhecida como bocaiúva, coco-baboso, macaíba e mucajaba. Apresenta caule do tipo estipe de 10 a 16 metros de altura e 20 a 30 centímetros de diâmetro, com espinhos aderidos em toda a extensão de até dez centímetros de comprimento. A madeira é caracterizada como dura, ligeiramente pesada e de longa durabilidade. As folhas

apresentam coloração verde com até cinco metros de comprimento com até 130 folíolos em cada lado com presença de espinhos na região central (LORENZI et al., 2010).

As flores são amarelas, unissexuais e estão dispostas em inflorescências interfoliares do tipo espádice. A floração ocorre geralmente nos meses de outubro a fevereiro, com maiores destaques para os meses de verão (CICONINI, 2012). Os frutos são classificados como drupas globosas com diâmetros variando entre 2,5 e 5,0 centímetros (LORENZI et al., 2010) e são constituídos de 22,57% de epicarpo, 38,95% de mesocarpo, 31,55% de endocarpo e 6,93% de amêndoa (EVARISTO et al., 2017).

Entre os pontos positivos do cultivo da macaúba destacam-se a sua elevada produção, comparada ao óleo de palma, com produtividade média de 5000 kg/ha (REVELLO, 2014; MOTA et al., 2011; CLEMENT et al., 2005), o alto rendimento na reação de transesterificação para a produção de biodiesel de qualidade em torno de 70 a 99% (MICEHELIN et al., 2015; AGUIEIRAS et al., 2014), a baixa necessidade hídrica (EMBRAPA, 2007), a possibilidade de estabelecimento de plantios consorciados com culturas anuais e pastagens (MONTTOYA et al., 2021; MOTA et al., 2011), sua rusticidade e adaptabilidade a ambientes variados (PIMENTEL et al., 2011) e benefícios ambientais como potencial espécie para a recuperação de áreas degradadas e sequestro de carbono (MOTA et al., 2011).

Outro ponto positivo na domesticação da macaúba é a utilização de todos os coprodutos originados. Extrai-se óleo do mesocarpo e da amêndoa. O óleo do mesocarpo é fortemente indicado para a produção de biodiesel (EVARISTO et al., 2016a), para a utilização na alimentação humana, pois é altamente comparável ao azeite de oliva (MOTA et al., 2011) e na indústria de cosméticos tem elevado potencial para produtos protetores da pele (CALLEGARI et al., 2014). Já o óleo da amêndoa pode ser utilizado para fabricação de produtos voltados à higiene pessoal (CALLEGARI et al., 2014; MOTA et al., 2011). A amêndoa ainda pode ser consumida in natura e pode ser utilizada no preparo de paçoca (LORENZI et al., 2010).

Após a extração do óleo tanto do mesocarpo quanto da amêndoa sobram resíduos intitulados de farinha e farelo de macaúba, respectivamente. A farinha do mesocarpo pode ser utilizada na alimentação humana, substituindo a farinha de trigo na formulação de biscoitos e similares melhorando os aspectos nutricionais

(RODRIGUES et al., 2017), e na alimentação de gado de leite (SOBREIRA et al., 2012). Já o farelo da amêndoa foi recomendado pela Embrapa Agroenergia (2008), como potencial componente de rações animais balanceadas.

O estipe pode ser utilizado como madeira para calhas para água, mourões, tábuas e ripas e a medula e o meristema apical pode ser utilizado na alimentação humana, como palmito e bebidas fermentadas (LORENZI et al., 2010). As folhas podem ser aproveitadas para extração de fibras para a fabricação de linhas e redes de pesca, na cobertura de casas e para a forragem de animais. Os acúleos podem ser utilizados como substitutos de agulhas para coser (LORENZI et al., 2010). O epicarpo pode ser empregado como biomassa de caldeiras após a extração do pouco óleo presente (MOTA et al., 2011).

Dentre todos os coprodutos oriundos da macaúba, o óleo da polpa e da amêndoa merecem destaque, devido ao elevado valor agregado. O óleo da polpa é rico em ácido oleico, um ácido graxo insaturado (EVARISTO, et al, 2017), que fornece ao óleo características interessantes para o uso industrial, como fluidez e alta estabilidade oxidativa (AMARAL et al., 2011). O ácido oleico ainda é conhecido como ômega 9, um ácido graxo essencial ao metabolismo animal (AMARAL et al., 2011), que auxilia no peristaltismo e na dissolução de gorduras nas artérias (JORIS & MENSINK, 2016).

Já o óleo da amêndoa é rico em ácido láurico, o que fornece a ele características promissoras para o uso na indústria de cosméticos e fármacos (AMARAL et al., 2011). Na alimentação humana o ácido láurico apresenta inúmeros benefícios como, por exemplo, redução de lipídios, atividade anti-inflamatória e antioxidante (ILLAN et al., 2017; ARUNIMA & RAJAMOHAN, 2013). Foi reportado por Zhou et al. (2013), que o ácido láurico quando utilizado na suplementação de ruminantes, pode diminuir a liberação de metano e melhorar a utilização do nitrogênio, através da redução de protozoários e archaeabactérias no rúmen.

Embora a macaúba apresente inúmeras vantagens, ainda existem lacunas a serem preenchidas para o seu total aproveitamento. Entre os gargalos, estão a dificuldade em colher os frutos, pois ainda não existem equipamentos apropriados para a colheita de palmáceas, onde os frutos estão localizados a grandes alturas (KAWAHARA, 2017), desta forma, a colheita é realizada de modo extrativista, ou seja, os frutos são coletados no solo após a queda natural, culminando em uma perda

de qualidade tanto do fruto quanto do óleo (PIRES et al., 2013). Adicionalmente, a frutificação é sazonal, ou seja, a colheita é realizada apenas em cinco meses do ano (FARIA, 2010). Além disso, o processamento dos frutos precisa ocorrer o mais rápido possível, devido à alta perecibilidade do óleo (MOTTA et al., 2011).

A resolução desses três entraves da cadeia da macaúba nos leva a apenas uma solução, o desenvolvimento de técnicas específicas de armazenamento e de pós-colheita dos frutos de macaúba, com a intenção de manter o fruto e o óleo viável pelo maior período de tempo possível.

O armazenamento se configura como uma das principais etapas de produção e tem por objetivo controlar a deterioração natural que causa modificações físico-químicas ao longo do tempo (OLIVEIRA et al., 2012). Entre os fatores que mais afetam a qualidade durante o período de armazenamento estão a umidade, temperatura, disponibilidade de oxigênio, microrganismos, roedores (SILVA et al., 2021) e a forma como é realizado a colheita (FRANCO, 2019).

As reações químicas mais comuns em óleos vegetais durante a etapa de armazenamento são a hidrólise, a auto oxidação e a oxidação térmica, que podem ser aceleradas pela presença de calor, luz, ionização (NOGALA-KALUCKA et al., 2005), e pela presença de lipases endógenas (MORCILLO et al., 2013) ou exógenas (CAVALCANTI-OLIVEIRA et al., 2015).

A reação de hidrólise física, em óleos vegetais consiste na quebra dos triglicerídeos para a formação de ácidos graxos livres, na presença de água e temperaturas elevadas. Já a hidrólise enzimática, ocorre em função de enzimas lipolíticas, como as lipases e as fosfolipases, que são produzidas naturalmente pelo próprio metabolismo das plantas ou produzidas pela microfauna contaminante (ARAÚJO, 2004).

As reações de oxidação e auto-oxidação ocorrem em função da interação entre ácidos graxos insaturados e oxigênio formando como produtos iniciais os peróxidos (ARAÚJO, 2004). Os peróxidos são compostos que não apresentam nem sabor nem odor, mas eles são rapidamente decompostos em ácidos, aldeídos, ácidos graxos cíclicos, epóxidos, álcoois, polímeros, entre outros, que são os responsáveis pelo sabor e odor indesejáveis. Os peróxidos ainda são responsáveis pela oxidação de pigmentos, vitaminas e proteínas, sendo o responsável pela alteração da cor e do valor nutricional do óleo (ARAÚJO, 2004).

Essas reações químicas são responsáveis pela rancidez que é a razão pela qual ocorre a alteração de parâmetros de qualidade do óleo (NOGALA-KALUCKA et al., 2005), como o aumento da acidez e a diminuição da estabilidade oxidativa (ARAÚJO, 2004). Como produto final dessas reações químicas tem-se a liberação de compostos voláteis que são responsáveis pela alteração da cor, sabor e liberação de odores desagradáveis (NOGALA-KALUCKA et al., 2005).

O objetivo de se armazenar frutos de macaúba é obter óleo de qualidade pelo maior tempo possível. O óleo de macaúba sofre rápida acidificação em função da liberação de ácidos graxos livres. Por esta razão os frutos precisam ser processados o mais rápido possível (SOUZA, 2013; MOTA et al., 2011), ou armazenados de forma eficiente para garantir a qualidade dos produtos. As formas mais difundidas na conservação pós-colheita passam por métodos químicos e físicos. Os métodos químicos se resumem a aplicação de compostos que atuam no controle de microrganismos deterioradores (SILVA et al., 2019; GOULART, 2014), na aplicação de hormônios vegetais que retardam o processo de amadurecimento dos frutos (LOPES, 2016; BENATO, 1999) ou na aplicação de componentes antioxidantes (CARVALHO, 2010). Já a radiação, temperatura, luz e ventilação são as principais técnicas de conservação física empregadas para o controle pós-colheita de produtos agrícolas (GHINI & BETTIOL, 1995).

Frutos de macaúba coletados em Minas Gerais foram lavados com hipoclorito de sódio por 10 minutos e em seguida imersos em solução antifúngica (Tecto - 4 mL.L⁻¹), por cinco minutos antes do armazenamento. O aumento do índice de acidez (IA) foi observado conforme decorria o tempo de armazenamento, sendo no dia zero, o IA encontrado foi de 0,48% e no dia 45 o IA ultrapassava os 30%. Em relação a estabilidade oxidativa, os valores foram diminuindo com o passar do tempo, se mantendo dentro dos padrões estabelecidos pela EN 14112 (2003), até os 12 dias de armazenamento (GOULART, 2014).

Outra técnica utilizada para a manutenção da qualidade de frutos em pós-colheita através do controle de uma vasta gama de microrganismos é a utilização do gás ozônio (LAUREANO et al., 2016). Frutos de macaúba coletados em Minas Gerais, foram armazenados por 20 dias em temperatura ambiente, após este período frutos com casca e frutos sem casca passaram pelo tratamento com ozônio na concentração de 18 mg L⁻¹ e fluxo de 1,5 L min⁻¹ durante 10 horas. O tratamento com ozônio não foi eficiente no armazenamento de frutos com casca visto que após dez

dias os frutos já apresentavam deterioração, enquanto os frutos sem casca só apresentaram sinais de deterioração após 20 dias decorridos, mostrando que a ozonização foi eficiente. Foi constatado também que os frutos tratados com ozônio apresentaram menor média no índice de acidez, porém a aplicação de ozônio não afetou a estabilidade oxidativa do óleo da polpa (SILVA et al., 2019).

A aplicação de inibidores de etileno (1-MCP) é uma alternativa para o aumento da vida pós-colheita dos frutos, visto que o etileno é o hormônio responsável por desencadear as reações de amadurecimento dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Frutos de macaúba colhidos em Minas Gerais e submetidos a diferentes concentrações de 1-MCP (0, 1000, 2000 e 3000 nL.L⁻¹) por diferentes períodos de tempo (12 e 24 horas) no processo de armazenamento apresentaram relação inversa entre o aumento das doses aplicadas e do tempo de exposição ao 1-MCP com a redução do processo de deterioração dos frutos culminando em um menor índice de acidez nos frutos tratados com a maior dose de 1-MCP (LOPES, 2016).

Outra possibilidade para a conservação de óleos vegetais é a utilização de compostos antioxidantes. Os antioxidantes são compostos que mesmo em baixas concentrações em relação ao meio oxidante são capazes de inibir a oxidação através do sequestro de radicais livres ou quelação de íons metálicos, prevenindo desta forma, os efeitos negativos que a oxidação causa aos óleos vegetais (TANG et al., 2010). Entre os compostos antioxidantes podemos citar os sais de EDTA (ARAÚJO, 2004), os tocoferóis, flavonoides, ácidos fenólicos, terpenos, antocianinas, carotenóides (BODOIRA et al., 2017), bambu, casca de batata e casca de limão (SOUZA et al., 2021).

Adição de 1% de EDTA no óleo de polpa de macaúba antes do período de armazenamento foi recomendado para a proteção contra os danos oxidativos, devido a ação inibidora do EDTA sobre as enzimas lipolíticas (CARVALHO, 2010). Extratos de bambu, batata e limão foram misturados ao antioxidante sintético terc-butilhidroquinona (TBHQ) para a verificação do potencial antioxidante em biodiesel produzido através do óleo de soja. As misturas de baixas concentrações TBHQ com extratos de bambu, casca de limão e casca de batata apresentaram uso potencial para a diminuição do processo oxidativo do biodiesel. A mistura de 3000 ppm de casca de batata com 400 ppm de TBHQ resultou em tempo máximo de estabilidade de 28,7 h (SOUZA et al., 2021).

Entre os métodos físicos para a conservação pós-colheita destaca-se a secagem, que tem como objetivo a remoção da água até o equilíbrio com o ar de secagem (SILVA et al., 2008). Dentre as vantagens do processo de secagem na pós-colheita destacam-se a manutenção da estabilidade e da qualidade dos produtos, visto que, a diminuição do teor de água favorece a diminuição da atividade biológica e microbiana (RESENDE et al., 2008).

O processo de secagem apresenta algumas desvantagens, entre elas, o aumento das interações entre as moléculas, o aumento da sensibilidade química, facilitação do acesso do oxigênio atmosférico e aumento da velocidade das reações químicas de oxidação e hidrólise (ARAÚJO, 2004).

Destacam-se dois tipos de secagem: a natural e a artificial. A secagem natural caracteriza-se pela retirada de água do material de forma não forçada, enquanto a artificial conta com o auxílio de ar aquecido com ou sem umidade relativa controlada (OETTERER et al., 2006).

A secagem natural acontece devido a exposição do material a luz solar e é praticável em regiões com temperaturas médias em torno de 35 a 40°C. Embora produza materiais concentrados e de boa qualidade, se torna inviável em escala comercial. Por outro lado, a secagem artificial embora exija mão de obra qualificada e apresente custos maiores, é favorecida pela rapidez e pela possibilidade de controle das condições de secagem (OETTERER et al., 2006).

Na secagem artificial, o processo pode ser executado em baixas ou altas temperaturas. Considera-se secagem a baixa temperatura aquela cuja temperatura de secagem não ultrapasse 10°C da temperatura ambiente; passando esses 10°C, o processo é realizado a altas temperaturas. A secagem a baixa temperatura não permite a perda de substâncias voláteis, favorecendo a manutenção da qualidade original do produto. Em contrapartida, a secagem a altas temperaturas é um processo mais rápido, porém, pode causar danos à qualidade do produto (ELIAS, 2007).

A correta definição da temperatura de secagem é de suma importância, visto que a secagem em temperaturas inadequadas pode provocar a desorganização e a desestruturação das membranas, causando alteração nas propriedades físico-químicas do produto, em função, da interação de componentes antes compartimentalizados como enzimas hidrolíticas e oxidativas (MARQUES, et al., 2008).

Frutos de macaúba coletados diretamente no solo após queda natural no município de Piranga - MG, foram levados para a Universidade Federal de Viçosa

(UFV), onde foram armazenados por nove dias e em seguida realizada a seleção dos frutos, excluindo frutos danificados e com sinais de doença. Os frutos foram submetidos a quatro tratamentos: o primeiro tratamento consistiu na secagem dos frutos em temperatura ambiente, e os outros tratamentos consistiram na secagem dos frutos em estufa de circulação forçada de ar com temperaturas de 60, 70 e 80°C, respectivamente. Após a secagem, os frutos foram armazenados por um período de 100 dias. Frutos secos a 60°C apresentaram os melhores resultados quanto a manutenção das características do óleo de macaúba (CARVALHO, 2010).

Em Araponga – MG, foram coletados frutos de macaúba diretamente no cacho, com o objetivo de realizar um ensaio de secagem em um protótipo de secador em camada fixa. Antes da realização do ensaio, os frutos ficaram armazenados em condições ambiente por sete dias. Decorrido o tempo, os frutos foram secos nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. Foi constatado que temperaturas de secagem superiores a 56,6°C são prejudiciais para a manutenção da estabilidade oxidativa do óleo de macaúba e que, quanto maior a temperatura de secagem maior será o índice de acidez (GONÇALVES, 2018).

Frutos de macaúba coletados no estado do Mato Grosso, no município de Corumbá, foram coletados, sanitizados e em seguida realizada a seleção, descartando frutos verdes, senescentes e com injúrias. O ensaio de secagem foi conduzido nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70°C. Foi constatado que o índice de acidez aumentou com o decorrer do tempo de armazenamento, e que a temperatura de secagem indicada para a manutenção dos índices de acidez baixos foi a de 70°C (SILVA et al., 2020).

Conforme apresentado, ainda existem lacunas a serem preenchidas para o completo entendimento do comportamento dos frutos de macaúba durante o armazenamento. Sendo assim, o objetivo deste estudo é investigar o comportamento dos frutos de macaúba durante o armazenamento quando submetidos a diferentes processos de secagem (alta e baixa temperatura) e diferentes percentuais de umidade para a viabilização do aumento da vida pós-colheita.

1.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIEIRAS, E. C. G.; CAVALCANTI-OLIVEIRA, E. D.; CASTRO A. M.; LANGONE, M. A. P.; FREIRE, D. M. G. Biodiesel production from *Acrocomia aculeata* acid oil by (enzyme/enzyme) hydroesterification process: use of vegetable lipase and fermented solid as low-cost biocatalysts. **Fuel**, v. 135, n. 1, p. 315-321, 2014.

AMARAL, F. P. DO; BROETTO, F.; BATISTELLA, C. B.; JORGE, S. M. A. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (jacq) lodd. ex mart] coletada na região de Botucatu, SP. **Revista Energia na Agricultura**. v. 26, n. 1, p. 12-20, 2011.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. UFV, 2. ed., 2004, 416p.

ARUNIMA, S.; RAJAMOHAN, T. Effect of virgin coconut oil enriched diet on the antioxidant status and paraoxanase 1 activity in ameliorating the oxidative stress in rats a comparative study. Department of Biochemistry, University of Kerala. India, 2013.

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

CALLEGARI, F. C.; CREN, E. C.; ANDRADE, M. H. C. Perspectivas da utilização dos óleos da Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart) no desenvolvimento de cosméticos. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: ABEQ, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3saeast1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0790-23843-177716.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2021.

CARVALHO, F. M. **Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba**. (2010). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2010.

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.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005

CLEMENT, C. R.; LLERAS, E.; van LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociência**. v. 9, n. 1, p. 67-71. 2005.

ELIAS, M. C. **Pós-Colheita de arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade**. Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422p.

EMBRAPA AGROENERGIA. **Visão estratégica do uso de palmáceas para bioenergia e ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação.** Brasília, 2008. 6p.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81-92, 2017.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; PIMENTEL, L. D.; GOULART, M. G.; 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, n. 1, p. 63-73, 2016a.

EVARISTO, A. B.; GROSSI, J. A. S.; CARNEIRO, A. C. 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 Bioenerg**, v. 85, n. 1, p. 18-24, 2016b.

FAO. The State of Food Insecurity in the World 2015. In: MEETING THE 2015 INTERNATIONAL HUNGER TARGETS: TAKING STOCK OF UNEVEN PROGRESS, Roma. 2015.

FARIA, L. A. **Hidrólise do óleo da amêndoa da macaúba com lipase extracelular de *Colletotrichum gloeosporioides* produzida por fermentação em substrato líquido.** (2010). Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Campus Pampulha, MG, 2010.

FERREIRA, A. N.; SANTOS, C. P. A. DOS; COSTA, G. L. DE A.; GEBARA, K. S. Utilização do extrato de bocaiúva (*acrocomia aculeata*) como um alimento funcional do tipo “shake”. **Interbio**, v.7, n. 1, 2013.

FRANCO, W. C. G. **Frequência de queda e avaliação do uso de coletor na conservação pós-colheita de frutos de macaúba.** (2019). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa - UFV - Campus Viçosa, MG, 2019.

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

GONÇALVES, M. G. **Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar.** (2018). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

GOULART, S. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel.** (2014). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2014.

ILLAM, S. P.; NARAYANANKUTTY, A.; RAGHAVAMENON, A. C. Polyphenols of virgin coconut oil prevent pro-oxidant mediated cell death. **Toxicology mechanisms and methods**, v. 27, n. 6, p. 442–450, 2017.

JORIS, P. J.; MENSINK, R. P. Role of cis-monounsaturated fatty acids in the prevention of coronary heart disease. **Current Atherosclerosis Reports**, v. 18, n. 7, p. 38-45, 2016.

KAWAHARA, Y. **Colheita de coco: um estudo para a mecanização**. (2017). Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo – USP – Campus São Carlos, SP, 2017.

KRUSE, J. Estimating demand for agricultural commodities to 2050. Report of Global Harvest Initiative, 2010

LAUREANO, J.; GIACOSA, S.; RIO SEGADE, F.; TORCHIO, F.; CRAVERO, V.; GERBI, V.; ENGLEZOS, C.; CARBONI, L.; COCOLIN, K.; RANTSIOU, L. R. D.; FARONI, L. Effects of continuous exposure to ozone gas and electrolyzed water on the skin hardness of table and wine grape varieties. **Journal of Texture Studies**, v. 47, n. 1, p. 40-48, 2016.

LEITMAN, P.; SOARES, K.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R. C. (2018). *Arecaceae* in lista de espécies da flora do Brasil. [S.l.] : [s.n]. Recuperado em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB53>.

LOPES, O. P. **Caracterização do amadurecimento e uso de inibidores do etileno na conservação pós-colheita de macaúba**. (2016) Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2016.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R., KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Plantarum, 2010. 384 p.

MARQUES, E. R.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A.; BIAGGIONI, M. A. M. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes períodos e temperaturas de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, 2008.

MICHELIN, S.; PENHA, F. M.; SYCHOSKI, M. M.; SCHERER, R. P.; TREICHEL, H.; VALERIO, A.; LUCCIO, M. D.; OLIVEIRA, D. DE.; OLIVEIRA, J. V. Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil. **Renewable Energy**, 76, p. 388-393. 2015.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; GRANJA, M. M. C.; BARBOSA, M. A. M.; QUEIROZ, D. S.; CECON, P. R. Viability of a macauba palm–*Brachiaria* grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. **Agron. Sustain. Dev.** 41, 55, 2021.

MORCILLO, F.; CROS, D.; BILLOTTE, N.; NGANDO-EBONGUE, G. F.; DOMONHÉDO, H.; PIZOT, M.; CUÉLLAR, T.; ESPÉOUT, S.; DHOUIB, R.; BOURGIS, F.; CLAVEROL, S.; TRANBARGER, T. J.; NOUY, B.; ARONDEL, V. Improving palm oil quality through identification and mapping of the lipase gene causing oil deterioration. **Nature Communications**, v. 4, n.2160, p. 1-8, 2013.

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

NOBRE, D. A. C.; TROGELLO, E.; BORGHETTI, R. A.; DAVID, A.M.S. S. Macaúba: palmeira de extração sustentável para biocombustível. **Colloquium Agrariae**, v. 10, n.2, p.92-105, 2014.

NOGALA-KALUCKA, M.; KORCZAK, J.; DRATWIA, M.; LAMPSRT-SZCZAPA, E.; SIGER, A.; BUCHOWSKI, M. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. **Food Chemistry**, v. 93, p. 227-235, 2005.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. (2006). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri, SP: Manole.

OLIVEIRA, C.; SILVA, B. M. S.; SADER, R.; MORÔ, F. V. Armazenamento de sementes de carolina em diferentes temperaturas e embalagens. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 68-74, 2012.

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: 1ª aproximação. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 20-30, 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.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

REVELLO, C. Z. P. **Avaliação do valor nutricional de resíduos do processamento da macaúba (*acrocomia aculeata*) e de seus produtos de Bioconversão**. (2014). 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014

RODRIGUES, I. D.; SANTOS, M. M. R.; CANDIDO, C. J.; SANTOS, E. F. dos.; NOVELLO, D. Adição de farinha de bocaiúva em alfajores: caracterização físico-química e sensorial entre crianças. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.15, n. 02, p. 721-732. 2017.

SARI, Y. W. **Biomass and its potential for protein and amino acids: valorizing agricultural by-products**. (2015). 146f. PhD thesis, Wageningen University, 2015.

SILVA, A. O.; SILVA, A. O.; GOMES, J. A.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, D. A. S.; VIEGAS, I. J. M. Armazenamento de grãos na agricultura familiar: principais

problemáticas e formas de armazenamento na região nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2021.

SILVA, V. M. da.; GUIMARÃES, R. D. A.; CAMPOS, R. P.; BORSATO, A. V.; HIANE, P. A.; DONADON, J. R. Drying and storage of macaúba fruit: chemical and oxidative stability. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 865-878, 2020.

SILVA, G. N.; GROSSI, J. A. S.; CARVALHO, M. S.; GOULART, S. M.; FARONI, L. R. D. Post-Harvest quality of ozonated macauba fruits for biodiesel production. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 1, p. 92-100, 2019.

SILVA, M. R.; LACERDA, D. B. C. L.; SANTOS, G. G.; MARTINS, D. M. O. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1790-1793, 2008.

SOBREIRA, H. F.; LANA, R. P.; MANCIO, A. B.; FONSECA, D. M. da.; MOTOIKE, S. Y.; SILVA, J. C. P. M. da.; GUIMARAES, G. Casca e coco de macaúba adicionados ao concentrado para vacas mestiças lactantes em dietas à base de silagem de milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, MG, v.2, n.1, p.113-117, 2012.

SOUZA, C. F. T. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (Acrocomia aculeata)**. (2013). Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco – UCDB – Campus Campo Grande, MT, 2013.

SOUZA, D. A. A. de.; CORREA, A. O. L.; SILVA, P. M. M. da.; CONCEIÇÃO, L. R. V. da. Avaliação do potencial de misturas de antioxidantes naturais e sintético na estabilidade oxidativa de biodiesel. **Brazilian Journal of development**, v. 7, n. 2, p. 11782-11799, 2021.

TANG, H.; GUZMAN, R. C.; SIMON, K, Y.; SALLEY, SO. O. Effect of antioxidants of the storage stability of soybean-oil-based biodiesel. **Energy & Fuels**, v. 24, n. 3, p. 2028-2033, 2010.

ZHOU, X.; MEILE, L.; KREUZER, M.; ZEITZ, J. O. The effect of saturated fatty acids on methanogenesis and cell viability of *Methanobrevibacter ruminantium*. **Archaea**, 2013.

2. Capítulo 1: Influência do teor de umidade na pós-colheita de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)

RESUMO

A palmeira macaúba é uma espécie nativa originária do cerrado, que pode ser utilizada desde a alimentação humana até a produção de biocombustíveis. A cadeia produtiva apresenta alguns entraves, entre eles a elevada perecibilidade do óleo, tornando seu processo de pós-colheita desafiador. A alta perecibilidade do óleo está associada ao alto teor de umidade inicial que acelera as reações de deterioração do óleo, tornando o seu processamento em escala industrial complexo devido a necessidade de grandes plantas industriais. Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do óleo da polpa de macaúba armazenados com diferentes teores de umidade (10, 12, 15, 18 e 20%) ao longo do tempo após serem secos em estufa com circulação forçada de ar a 50°C. Os frutos foram colhidos diretamente no cacho, selecionados e sanitizados. Após a sanitização, os frutos foram mantidos por 15 dias em condições ambientais (tempo de maturação). Passados os 15 dias os frutos foram secos em estufa seguidos de armazenamento. Os frutos foram armazenados por 0, 35, 60, 120, 205 e 240 dias e depois foram avaliados quanto ao índice de acidez, a estabilidade oxidativa (EO) e o teor de óleo. As interações entre tempo de armazenamento e umidade não foram significativas, mas quando se estudou os efeitos isolados foi constatado significância. O tempo de maturação foi significativo para o índice de acidez (IA) e para o teor de óleo (TO), comprovando que tanto o IA quanto o TO aumentam com o decorrer do tempo, entretanto não influenciou na EO. Após decorridos os quinze dias de maturação, os frutos passaram pelo processo de secagem até atingirem diferentes conteúdos de umidade. A umidade foi significativa tanto para o IA quanto para a EO. O tempo de armazenamento influenciou negativamente em todos os parâmetros avaliados, aumentando o IA e diminuindo a EO e o TO. Foi possível constatar que embora os frutos tenham apresentado uma rápida acidificação no início do processo de armazenamento, as técnicas empregadas foram capazes de manter o IA próximo a 10% por um período de 240 dias e que as técnicas de pós-colheita utilizadas neste estudo comprovaram a tese de que quanto menor a umidade de armazenamento, maior será a vida útil pós-colheita dos frutos de macaúba.

Palavras-chave: Armazenamento; Qualidade; Óleos Vegetais; Secagem; Temperatura.

ABSTRACT

The macaúba palm is a native species originating from the cerrado, and it can be utilized for a wide range of purposes, from human consumption to biofuel production. However, its production chain faces various challenges, including the high perishability of its oil, making post-harvest processing quite challenging. The high perishability of the oil is associated with its high initial moisture content, which accelerates the oil's deterioration reactions, making its industrial-scale processing complex due to the need for large industrial plants. Therefore, the aim of this study was to evaluate the quality of macaúba pulp oil stored at different moisture levels (10, 12, 15, 18, and 20%) over time after being dried in a forced air circulation oven at 50°C. The fruits were harvested directly from the bunch, sorted, and sanitized. After sanitization, the fruits were kept under ambient conditions for 15 days (ripening time). After this ripening period, the fruits were dried in the oven and then stored. They were stored for 0, 35, 60, 120, 205, and 240 days, and then evaluated for acidity index, oxidative stability (OS), and oil content. The interactions between storage time and moisture were not significant, but when studied separately, significant effects were observed. The ripening time was significant for acidity index (AI) and oil content (OC), showing that both AI and OC increase over time, although it did not influence OS. After the 15-day ripening period, the fruits underwent the drying process to achieve different moisture contents. Moisture was significant for both AI and OS. Storage time negatively influenced all evaluated parameters, increasing AI and decreasing OS and OC. It was observed that although the fruits underwent rapid acidification at the beginning of the storage process, the techniques employed were able to maintain AI close to 10% for a period of 240 days, and post-harvest techniques used in this study supported the thesis that lower storage moisture leads to a longer post-harvest lifespan for macaúba fruits.

Keywords: Storage; Quality; Vegetable Oils; Temperature; Drying.

2.1 INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) é uma palmeira nativa encontrada em praticamente todos os biomas brasileiros (LEITMAN et al., 2018), com ênfase no cerrado (REVELLO, 2014). Ela pode tanto ser utilizada na alimentação humana (SANT'ANA et al., 2023; TÔLEDO, 2010; LORENZI, 2010), quanto utilizada como matéria prima para a indústria de óleos vegetais (MICEHELIN et al., 2015; AGUIEIRAS et al., 2014).

O cultivo da macaúba oferece uma série de vantagens. A macaúba é altamente adaptável à variedade de ambientes, caracterizando-se pela baixa demanda hídrica (COSTA, 2009), e pode ser cultivada em consórcios com outras culturas (MONTROYA et al., 2021; LEITE et al., 2013; MOTTA et al., 2011), o que acarreta benefícios ambientais como a revitalização de áreas degradadas e a captura de carbono (MOTTA et al., 2011). Destaca-se a produção, com média estimada de 5.000 kg/ha⁻¹, comparável ao óleo de palma (REVELLO, 2014; MOTA et al., 2011; CLEMENT et al., 2005), embora com o auxílio de técnicas de melhoramento genético esse valor possa aumentar consideravelmente (ROSCOE et al., 2007). Os óleos extraídos tanto da polpa quanto da amêndoa apresentam usos distintos, entre eles na alimentação humana (MOTTA et al., 2011) e na indústria farmacêutica e cosmética (CALLEGARI et al., 2014).

A frutificação é sazonal, limitando a colheita há cinco meses do ano (FARIA, 2010), e a alta perecibilidade do óleo exige processamento rápido dos frutos (MOTTA et al., 2011).

Para superar esses dois desafios na cadeia da macaúba, a solução central reside no desenvolvimento de técnicas especializadas de armazenamento e pós-colheita dos frutos com o objetivo principal de preservar tanto o fruto quanto o óleo pelo período mais prolongado possível.

A secagem é uma das técnicas mais antigas para a preservação de alimentos. Durante o processo de secagem, o calor é transferido do ar quente para o produto, resultando na evaporação da água, que é então removida para o ambiente (NOWAK & LEWICKI, 2004). Em frutos oleaginosos, como a macaúba, a temperatura ideal de secagem favorece a redução do teor de água e da atividade enzimática, o que, por sua vez, prolonga a vida útil durante o armazenamento. Além disso, facilita a extração de óleo durante o armazenamento e o processamento. As alterações na temperatura desempenham um papel crucial no processo de secagem e deve ser acompanhada por adequada circulação de ar (PNW 397, 2009).

A secagem de frutos de macaúba por 48 horas em estufa, com circulação forçada de ar a 60°C, não se mostrou apropriada para obtenção de óleo de polpa de boa qualidade para fins industriais, visto que desencadeou o aumento da acidez (FAVARO, et al., 2017). Corroborando com estes dados Gonçalves (2018), constataram que a temperatura ideal para a secagem não deve ultrapassar 56,6°C.

Outro ponto que merece destaque é que os frutos apresentam alta umidade. Frutos colhidos na Zona da Mata Mineira apresentaram 46,77% de umidade (EVARISTO et al., 2017), favorecendo assim as reações de deterioração do óleo e a atuação de microrganismos. Essa abordagem fundamenta-se na dependência de microrganismos, enzimas e de todo o sistema metabólico em relação à água para suas atividades. A diminuição da quantidade de água disponível até níveis seguros para armazenamento resulta na redução da atividade, na inibição do desenvolvimento de microrganismos e, conseqüentemente, na desaceleração da velocidade das reações químicas de degradação do produto (GONELI et al., 2007).

Assim, o propósito deste estudo consistiu em avaliar a qualidade pós-colheita de frutos de macaúba armazenados em diferentes níveis de umidade após submetê-los a um período de quinze dias de maturação seguidos por um processo de secagem a 50°C durante o processo de armazenamento.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba

Os frutos foram coletados diretamente dos cachos após atingirem a maturação natural, provenientes do banco de germoplasma de palmáceas BGP-macaúba situado no município de Araponga, Minas Gerais (20° 40' 01" S; 42° 31' 15" O), pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa. Nesse município, a temperatura média é de 18°C, e a precipitação anual atinge 1.339 mm, conforme relatado por Júnior (2009).

Os frutos foram colhidos no dia 16/03/2022 e depois transportados para a Universidade Federal de Viçosa, onde o experimento foi montado.

Os frutos recém-chegados foram avaliados e excluídos caso apresentassem rachaduras e/ou furos na casca, sinais de contaminação microbiológica e sinais de ataques de insetos.

Passados pela vistoria, os frutos foram submetidos ao tratamento de sanitização. Os frutos ficaram imersos em hipoclorito de sódio 200 mg.L^{-1} por 10 minutos. Após a seleção e a sanitização, os frutos estavam prontos para serem submetidos aos tratamentos.

2.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos

Após a seleção dos frutos, determinou-se a umidade inicial através do método gravimétrico. Foram selecionados 100 frutos de modo aleatório para a realização do teste de umidade. Em seguida, foram acondicionados em estufa com circulação forçada de ar a 105°C e pesados diariamente até atingirem o equilíbrio higroscópico. Considera-se equilíbrio higroscópico quando três pesagens consecutivas não apresentam alteração do peso. Pela subtração do peso inicial e o peso final obtém-se o teor de umidade. Os frutos apresentavam umidade inicial de 41,94% de acordo com a curva abaixo (Figura 1).

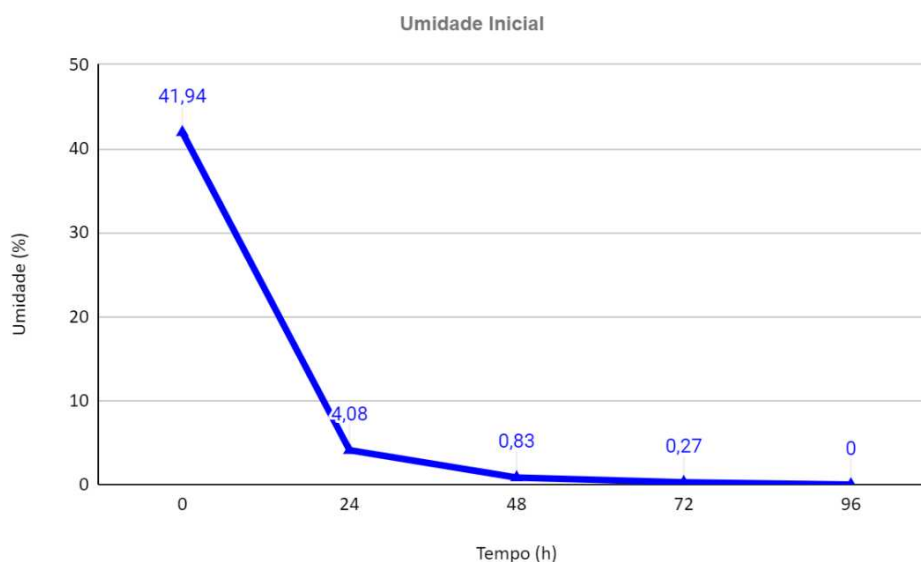


Figura 1: Umidade inicial dos frutos de macaúba recém-colhidos e secos em estufa com circulação forçada de ar a 105°C até o equilíbrio higroscópico.

2.2.3 Período de Maturação

Depois de selecionados e sanitizados, foram separados 580 frutos. Estes passaram pelo período de maturação, onde permaneceram armazenados no galpão do Laboratório de Pós-Colheita de Macaúba sob condições ambientais, por 15 dias.

2.2.4 Secagem

Após o período de maturação (15 dias), os frutos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 50°C até alcançarem 10, 12, 15, 18 e 20% de umidade.

Os frutos foram pesados após a seleção e sanitização e pesados após o período de maturação, ou seja, antes de iniciar o processo de secagem na estufa. Desta forma foi possível determinar em qual umidade os frutos foram colocados na estufa. Para determinação da massa dos frutos, com o referido percentual de umidade, foi usada a seguinte equação 1:

$$Qu = \frac{(U_i - U_f)}{(100 - U_f)} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Qu = quebra de umidade;

U_i = umidade inicial (%);

U_f = Umidade Final (%);

O valor da quebra de umidade representa a porcentagem de água que o fruto precisa perder para estar com o percentual de umidade desejado. De posse do valor da quebra de umidade e do peso das amostras, por simples subtração, obtivemos o peso de cada amostra para cada percentual de umidade desejado.

2.2.5 Armazenamento

Após cada amostra alcançar o referido percentual de umidade, os frutos foram retirados da estufa e iniciou-se o período de armazenamento em condições ambientais no galpão de Pós-Colheita de macaúba. Foi estabelecida curva de perda de massa e de perda de umidade para cada percentual de umidade.

Os frutos foram armazenados em caixas que permitiam a ventilação dos mesmos no galpão por períodos de 0, 35, 60, 120, 205 e 240 dias. Decorridos os tempos de armazenamento os frutos foram congelados em freezers a -20°C até o momento das análises laboratoriais.

2.2.6 Extração do óleo de macaúba

O primeiro passo para a realização das análises foi a extração do óleo. Os frutos foram despulpados de forma manual com o auxílio de facas inox. A polpa foi seca em estufa com circulação e renovação do ar por 16 h a 65 °C, com o objetivo de facilitar a prensagem mecânica, que foi realizada com a prensa hidráulica construída pelo Laboratório de Pós Colheita de macaúba, da UFV. O óleo extraído foi centrifugado a 4.000 rpm por 20 min. O sobrenadante foi acondicionado em frasco âmbar e armazenado em freezer a -20 °C até o momento da análise.

2.2.7 Planejamento Fatorial

O Planejamento Fatorial completo com ponto central foi empregado com o objetivo de determinar os fatores relevantes na resposta e como o efeito de um fator varia com os

níveis dos outros fatores. Com esse tipo de planejamento, também é possível medir as interações entre diferentes fatores.

Para estudar a viabilidade dos frutos de macaúba secos em estufa com circulação forçada de ar à 50°C, a qualidade do óleo depende da umidade e do tempo de armazenamento. Foram realizados dois tratamentos controles, o primeiro (C1) no dia em que os frutos foram colhidos e o segundo (C2) após decorridos os quinze dias de maturação. Os dados foram analisados através da análise de variância e adotando o nível de 5% de significância. A influência da umidade (12% a 20%) e do tempo (0 a 240 dias) foram avaliados através de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), ou seja 2^2 incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 5 repetições no ponto central, totalizando 13 ensaios. Os dados foram analisados com auxílio do programa R e desta forma, foram geradas superfícies respostas e parâmetros estatísticos de modelos ajustados.

Tabela 1: Planejamento Fatorial 2^2 com cinco pontos centrais

| Tratamentos | Umidade | Tempo |
|--------------------|----------------|------------------|
| 1 | -1 [12%] | -1 [35 dias] |
| 2 | +1 [18%] | -1 [35 dias] |
| 3 | -1 [12%] | +1 [205 dias] |
| 4 | +1 [18%] | +1 [205 dias] |
| 5 | -1,41 [10%] | 0 [120 dias] |
| 6 | +1,41 [20%] | 0 [120 dias] |
| 7 | 0 [15%] | -1,41 [0 dias] |
| 8 | 0 [15%] | +1,41 [240 dias] |
| 9 | 0 [15%] | 0 [120 dias] |
| 10 | 0 [15%] | 0 [120 dias] |
| 11 | 0 [15%] | 0 [120 dias] |
| 12 | 0 [15%] | 0 [120 dias] |
| 13 | 0 [15%] | 0 [120 dias] |

2.2.8 Análises laboratoriais

Os tratamentos (tabela 1) foram avaliados quanto às características químicas: índice de acidez, estabilidade oxidativa e teor de óleo da polpa.

Para a obtenção do índice de acidez (IA), foi utilizado o método Ca 5a – 40 sugerido pela American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994), que leva em conta a quantidade de base necessária para a neutralização dos ácidos graxos de óleos e gorduras. Em um erlenmeyer de 125,0 mL foi adicionado $2,00 \pm 0,10$ g da amostra de óleo, 25 mL da solução neutra de éter etílico-álcool na proporção de 2:1, acrescido de quatro gotas de indicador fenolftaleína 0,4%. Em seguida, foi realizada a titulação com solução padronizada de NaOH $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e o índice de acidez calculado com base na equação 2:

$$IA = \frac{v \times f \times M \times 28,2}{P}, \text{ onde:} \quad \text{Equação 2}$$

IA = índice de acidez expresso em mg de NaOH.g⁻¹ (resultado apresentado em porcentagem de ácido oleico);

v = volume da solução de amostra de NaOH em mL, utilizado na titulação da amostra;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio encontrado com a padronização (adimensional);

M = molaridade da solução de NaOH utilizada;

P = peso da amostra em g.

A análise de estabilidade oxidativa também se baseou na metodologia da American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994). O equipamento utilizado foi o 873 Biodiesel Rancimat® (Metrhom, Suíça). Em um tubo de ensaio foram adicionados $2,50 \pm 0,01$ g de óleo da polpa da macaúba. Logo após, os tubos foram acoplados ao Rancimat. A velocidade de fluxo de ar foi de $10,0 \text{ L.h}^{-1}$ e a temperatura de trabalho de 110°C . A oxidação foi acelerada pela passagem de ar pela amostra, mantendo a temperatura elevada. Os produtos voláteis da reação foram capturados pela água destilada, sendo a condutividade elétrica medida ao longo do tempo. Assim, foi possível determinar o período de indução, que configura o tempo decorrido do início da análise até a elevação brusca da condutividade elétrica. A estabilidade oxidativa do óleo é quebrada, quando o período de indução transcorre. Sendo assim, quanto maior o período de indução, maior a estabilidade oxidativa. Os resultados foram expressos em horas (h).

O teor de óleo foi determinado pelo método Soxhlet modificado, utilizando-se extrator de óleos e graxas Marconi 044/8/50 (Marconi, Brasil). Primeiramente, a polpa previamente seca foi triturada e colocada em cartuchos de papel, anteriormente secos e pesados, pesando-se em seguida o conjunto cartucho + amostra. Os cartuchos contendo as amostras permaneceram imersos em solvente orgânico (hexano P.A.) por 2 h a 80 °C. Após este período, os cartuchos foram erguidos e novamente imersos no solvente por 5 vezes durante 1 h. Por fim, a temperatura do solvente foi elevada a 110 °C e as amostras foram lavadas com o solvente recuperado no condensador. Após a extração, as amostras foram secas a 65 °C em estufa de circulação e renovação de ar por 16 h, sendo então os cartuchos com as amostras novamente pesados. O teor de óleo da polpa foi calculado pela equação 3:

$$\text{TOP (\%)} = \frac{P1 - P2}{P1 - Pt} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{Equação 3}$$

P1: peso do cartucho + amostra antes da extração (g);

P2: peso do cartucho + amostra após a extração (g);

Pt: peso do cartucho (g).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Resultados pré-secagem

O índice de acidez e o teor de óleo foram influenciados pelo tempo de maturação, enquanto a estabilidade oxidativa não apresentou diferença estatística. Enquanto foi possível observar o aumento do IA e do TO, observou-se a diminuição da EO (Tabela 2). Tilahum et al., (2019), estudando frutos de macaúba colhidos diretamente no cacho e submetidos ao armazenamento encontrou IA de 1,77 e 3,30 para zero e quinze dias de armazenamento respectivamente, confirmando o aumento do IA ao longo do tempo. Os frutos de macaúba apresentam elevada umidade inicial o que favorece as reações de hidrólise, que consiste na decomposição dos triglicerídeos culminando na produção de ácidos graxos livres (ARAÚJO, 2004) que acarreta aumento do IA.

Tabela 2: Médias do índice de acidez (IA), estabilidade oxidativa (EO) e teor de óleo (TO) para o controle 1 (frutos recém-colhidos) e para o controle 2 (frutos após 15 dias de maturação).

| Variável | C1 | C2 |
|------------|--------|--------|
| IA (%) | 0,94B | 2,23A |
| EO (horas) | 14,19A | 10,54A |

| | | |
|-------------|--------|--------|
| TO (%) | 44,53B | 51,17A |
| Umidade (%) | 41,94 | 37,08 |

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

A estabilidade oxidativa caiu de 14,19 horas para 10,54 horas (tabela 2). Embora durante os quinze dias de maturação tenha-se diminuído a EO em 3,65 horas, o óleo ainda se apresenta apropriado para a produção de biocombustível, visto que, a ANVISA delimita uma EO mínima de 6 horas. Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba colhidos no cacho e armazenados por 0 e 10 dias em condições ambientais encontrou valores de 10,29 e 9,01 horas para a estabilidade oxidativa, corroborando com o comportamento encontrado neste estudo. A redução da resistência do óleo do mesocarpo à oxidação pode ser atribuída a uma combinação de fatores. Esses fatores incluem a composição do perfil de ácidos graxos do óleo, a presença de microrganismos e as temperaturas mais elevadas experimentadas durante o armazenamento no galpão. Essas condições podem ter acelerado o processo de auto oxidação e hidrólise do óleo (BOUAID et al., 2007).

Para o teor de óleo Goulart (2018), estudando frutos de macaúba recém-colhidos e armazenados por 0 e 10 dias encontrou teor de óleo de 46,94 e 50,37% respectivamente, resultados semelhantes ao encontrado neste estudo. Queiroz & Andrade (2016), coletaram frutos de macaúba em Belo Horizonte – MG, diretamente da superfície do solo e em seguida armazenaram por 30 dias em condições ambientais. Constataram um aumento no teor de óleo de 18,58% corroborando com os resultados deste estudo.

Conforme Goulart (2014), o aumento no conteúdo de óleo na polpa durante o armazenamento dos frutos é uma resposta ao comportamento climatérico da macaúba. Além disso a alta umidade dos frutos maduros e recém-colhidos favorece o metabolismo e conseqüentemente o maior acúmulo de óleo com o passar do tempo (GONÇALVES, 2018; QUEIROZ & ANDRADE, 2016).

2.3.2 Resultados pós-secagem

Para o índice de acidez a interação entre o período de armazenamento e a umidade não foi significativa, entretanto, estudando os fatores de forma isolada tanto a umidade quanto o tempo de armazenamento influenciaram significativamente o IA evidenciando que com o aumento do tempo de armazenamento e o aumento da umidade, ocorre também o aumento do índice de acidez (Figura 2). Na presença de água os óleos sofrem reações de hidrólise, que é caracterizada pela quebra dos triglicerídeos para a formação de ácidos graxos livres (ARAÚJO, 2004). Essas reações químicas são responsáveis pela rancidez

que é a razão pela qual ocorre a alteração de parâmetros de qualidade do óleo (NOGALA-KALUCKA et al., 2005), como, por exemplo, do índice de acidez e alterações de sabor, odor, textura e cor (ARAÚJO, 2004).

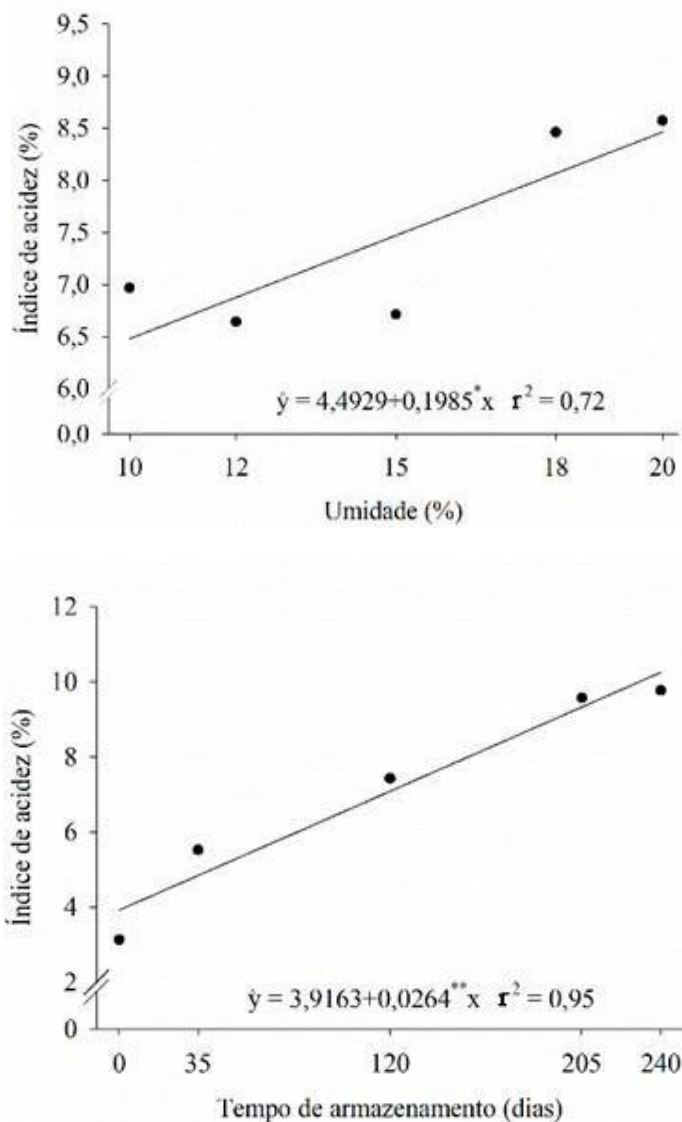


Figura 2: Índice de acidez em função (A) da umidade e (B) do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Resultados semelhantes foram encontrados por diversos estudos (SILVA et al., 2020; FRANCO, 2019; GOULART, 2014), comprovando que o índice de acidez tem uma relação proporcional com o tempo de armazenamento. Franco (2019), manteve os frutos de macaúba armazenados no campo por 14 dias e encontrou um IA próximo de 2%. Esse estudo encontrou um IA de 4,29% após decorridos 14 dias de maturação seguido de secagem em estufa a 50°C, sugerindo que a secagem a alta temperatura pode influenciar

negativamente a acidificação dos óleos de macaúba no início do processo de armazenamento. Em contrapartida Goulart (2014), constatou que após decorridos 45 dias de armazenamento sem secagem o IA encontrado foi acima de 30%. Esse estudo manteve o IA a 10,25% após 240 dias de armazenamento (Figura 2B), indicando que essas técnicas pós-colheita diminuíram a velocidade de acidificação do óleo.

Frutos armazenados com 12% de umidade apresentaram IA médio de 6,87, enquanto frutos armazenados com 20% de umidade apresentaram IA médio de 8,46 (Figura 2A). Os resultados encontrados comprovam a tese de que, frutos armazenados com menores teores de umidade se mantêm viáveis por um maior período de tempo e que quanto maior o tempo de armazenamento maior será o IA (Figura 2B).

A estabilidade oxidativa apresentou o mesmo padrão do IA sendo a interação entre os fatores não significativa e os efeitos isolados influenciando na EO. Os resultados revelaram que quanto menor a umidade de armazenamento, maior será a EO e que a estabilidade oxidativa diminui com o aumento do o período de armazenamento (Figura 3). Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba que ficaram expostos ao solo por 14 dias e armazenados por 0 dias em condições ambientais, encontrou EO próxima de 4,60 horas. Franco (2019) armazenando frutos de macaúba em coletores no campo por 14 dias encontrou EO de 3,78 horas. Contrapondo estes resultados, pode-se inferir que a secagem a 50°C não foi efetiva para a manutenção da EO do óleo de macaúba.

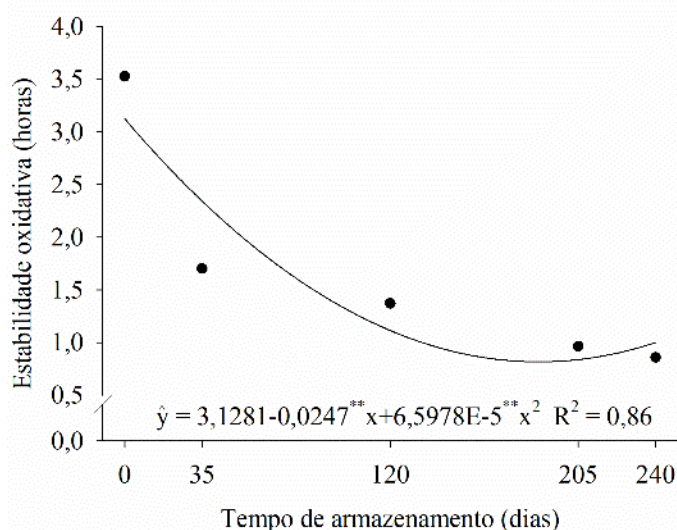
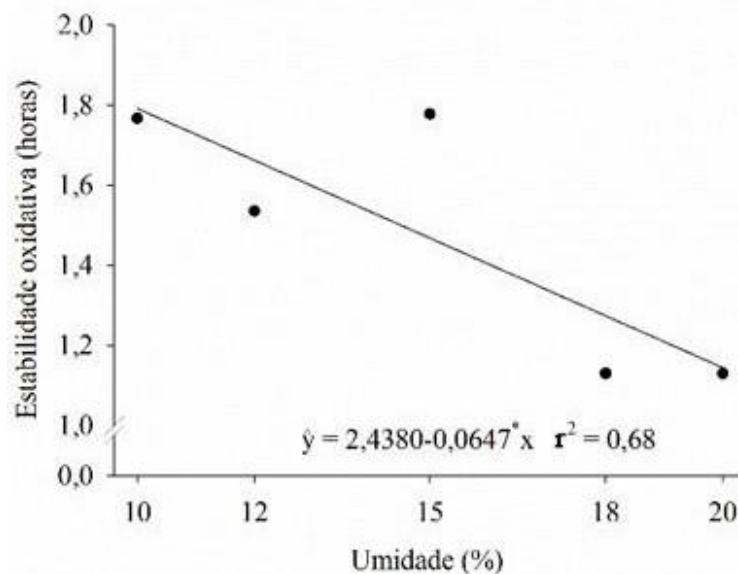


Figura 3: Estabilidade oxidativa em função (A) da umidade e (B) do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Uma possível explicação para a acelerada perda de estabilidade oxidativa é o processo de secagem que resulta na remoção da água do produto, promovendo a criação de canais na sua estrutura. Esses canais, juntamente com a temperatura do processo e a umidade, contribuem para acelerar as reações químicas de oxidação e hidrólise devido ao contato mais eficaz com o oxigênio atmosférico (BERSET & CUVELIER, 1996; ARAÚJO, 2004).

Seguindo as diretrizes estabelecidas no Regulamento Técnico nº 3/2014, que faz parte da Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014, é necessário que o biodiesel apresente um período mínimo de indução à perda de estabilidade oxidativa de 6,0 horas

(ANP, 2014), ou seja, apenas os frutos dos controles são apropriados para a produção de biocombustível.

Para o teor de óleo o coeficiente relacionado aos dias de armazenamento foi significativo, enquanto a interação entre os fatores e a umidade de armazenamento não foram significativas. Os frutos foram avaliados inicialmente em dois tratamentos controles, sendo C1 (frutos recém-colhidos) e C2 (frutos após 15 dias de maturação). Os resultados foram de 44,53% e 51,67% respectivamente.

Decorridos os 15 dias de maturação, os frutos foram submetidos a secagem em estufa a 50°C e então foram armazenados em condições ambientais com diferentes umidades. A equação da regressão indica a diminuição do teor de óleo após a secagem a 50°C (Figura 4).

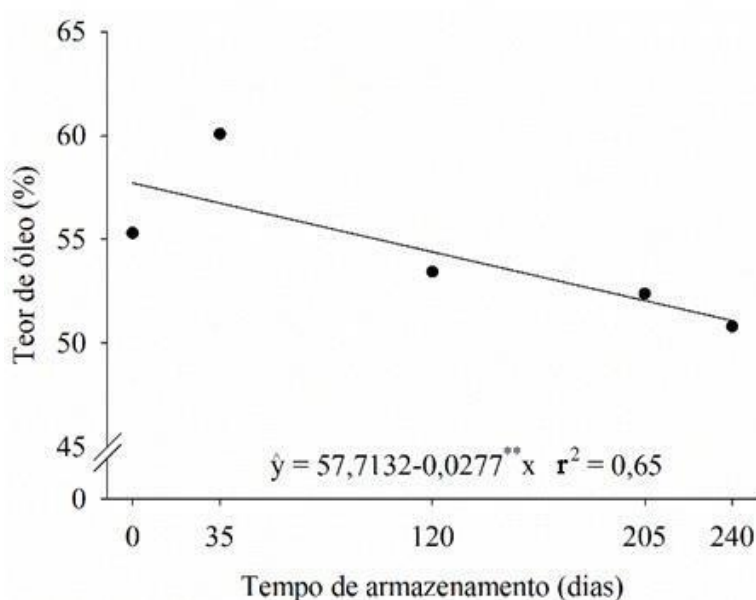


Figura 4: Teor de óleo em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Estes resultados estão em conformidade com Evaristo (2015), que também constatou declínio do teor de óleo em frutos de macaúba após 40 dias de armazenamento em condições ambientais. Martins (2013), relatou o não acúmulo de óleo em frutos de macaúba após secagem por quatro e oito dias em estufa a 65°C. Queiroz & Andrade (2016) e Martins (2013), observaram baixo acúmulo de óleo após secagem em estufa a 60°C e a 45°C respectivamente. A explicação para esse fenômeno reside na redução da umidade, a qual diminui o metabolismo do fruto, conseqüentemente reduzindo ou até cessando as reações metabólicas responsáveis pelo acúmulo de óleo (GONÇALVES,

2018; QUEIROZ & ANDRADE, 2016). Portanto, o período de maturação dos frutos (quinze dias), realizado antes do processo de secagem, foi suficiente para o acúmulo de óleo.

2.4 CONCLUSÃO

Foi possível constatar que as técnicas de pós-colheita realizadas neste estudo comprovaram a hipótese de que quanto menor a umidade de armazenamento, maior será a vida útil pós-colheita dos frutos de macaúba.

Embora os frutos tenham apresentado uma rápida acidificação no início do processo de armazenamento, as técnicas empregadas foram capazes de manter o IA próximo a 10% por um período de 240 dias.

Os quinze dias de maturação foram suficientes para o acúmulo de óleo.

A secagem a 50°C não é indicada para a manutenção da EO e nem para o acúmulo de óleo de frutos de macaúba, embora tenha diminuído drasticamente a velocidade de acidificação.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIEIRAS, E. C. G.; CAVALCANTI-OLIVEIRA, E. D.; CASTRO A. M.; LANGONE, M. A. P.; FREIRE, D. M. G. Biodiesel production from *Acrocomia aculeata* acid oil by (enzyme/enzyme) hydroesterification process: use of vegetable lipase and fermented solid as low-cost biocatalysts. **Fuel**, v. 135, n. 1, p. 315-321, 2014.

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

AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. Champaign: 1994.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. UFV, 2. ed., 2004, 416p.

BERSET, C.; CUVELIER, M. E. *Sciences des Aliments* 1996, v.16, p.219.

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.

Brasil. (2005). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0270_22_09_2005.html. Acesso em: 01. Set. 2023.

CALLEGARI, F. C.; CREN, E. C.; ANDRADE, M. H. C. Perspectivas da utilização dos óleos da Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart) no desenvolvimento de cosméticos. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: ABEQ, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3saeast1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0790-23843-177716.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2021.

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.

CLEMENT, C. R.; LLERAS, E.; van LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. *Agrociência*. v. 9, n. 1, p. 67-71. 2005.

COSTA, C. F. Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaubais no estado de São Paulo. (2009). Dissertação (Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, Campinas, SP, 2009.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. *Agrotecnologia*, v. 8, n. 2, p. 81-92, 2017.

EVARISTO, A. B. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). (2015). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG.

FARIA, L. A. **Hidrólise do óleo da amêndoa da macaúba com lipase extracelular de *Colletotrichum gloesporioides* produzida por fermentação em substrato líquido**. (2010). Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Campus Pampulha, MG, 2010.

FAVARO, S. P.; TAPETI, C. F.; MIRANDA, C. H. B.; CICONINI, G.; MIYAHIRA, M. A. M.; ROSCOE, R. Macauba (*Acrocomia Aculeata*) Pulp oil quality is negatively affected by dryng fruits at 60°C. *Brazilian archives of biology and technology*, v. 60: e-1603373, 2017.

FRANCO, W. C. G. **Frequência de queda e avaliação do uso de coletor na conservação pós-colheita de frutos de macaúba**. (2019). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa - UFV - Campus Viçosa, MG, 2019.

GONÇALVES, M. G. **Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar**. (2018). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

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. M. **Colheita e pós-colheita de macaúba: Qualidade do óleo da polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na alimentação animal.** (2018). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

GOULART, S. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel.** (2014). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2014.

JÚNIOR, A. de S. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais.** 101 f. 2009. - Universidade Federal de Lavras, [s. l.], 2009.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1257-1263, 2013.

LEITMAN, P.; SOARES, K.; HENDERSON, A.; NOBLICK, L.; MARTINS, R. C. (2018). *Arecaceae* in lista de espécies da flora do Brasil. [S.l.] : [s.n]. Recuperado em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB53>.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R., KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras).** Nova Odessa: Plantarum, 2010. 384 p.

MARTINS, A. D. **Radiação Gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de Macaúba.** (2013). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV - Campus Viçosa. MG, 2013.

MICHELIN, S.; PENHA, F. M.; SYCHOSKI, M. M.; SCHERER, R. P.; TREICHEL, H.; VALERIO, A.; LUCCIO, M.D.; OLIVEIRA, D. DE.; OLIVEIRA, J. V. Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil. **Renewable Energy**, 76, p. 388-393. 2015.

MONTOYA, S. G.; MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; GRANJA, M. M. C.; BARBOSA, M. A. M.; QUEIROZ, D. S.; CECON, P. R. Viability of a macauba palm–Brachiaria grass intercropping system as an alternative to agroforestry production. **Agron. Sustain. Dev.** 41, 55, 2021.

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

NOGALA-KALUCKA, M.; KORCZAK, J.; DRATWIA, M.; LAMPSRT-SZCZAPA, E.; SIGER, A.; BUCHOWSKI, M. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. **Food Chemistry**, v. 93, p. 227-235, 2005.

NOWAK, D.; LEWICKI, P. P. Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 353–360. 2004.

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.

PNW 397. 2009. Drying fruits and vegetables. Pacific Northwest Extension Publication, 3 rd edition, University of Idaho, USA.

QUEIROZ, L. A. B.; ANDRADE, M. H. C. Characteristics of pulp and oil from Macauba (*Acrocomia Aculeata*) after different post-harvest treatments and storage. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 2, n. 3, p. 46-53. 2016.

REVELLO, C. Z. P. **Avaliação do valor nutricional de resíduos do processamento da macaúba (acrocomia aculeata) e de seus produtos de Bioconversão.** (2014). 81f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2014.

ROSCOE, R.; RICHETTI, A.; & MARANHO, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. **Revista Política Agrícola**, 16, 48-59, 2007.

SANT'ANA, C. T.; COSTA, N. M. B.; MARTINO, H. S. D.; BARROS, F. A. R. Macauba (*Acrocomia aculeata*): promising source of nutrients and association with health benefits, a review. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, e13912239223, 2023.

STEFFENS, C. A.; BRACKMANN, A.; PINTO, J. A. V.; EISERMANN, A. C. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 313-321, 2007.

SILVA, G. N.; GROSSI, J. A. S.; CARVALHO, M. S.; KUKI, K. N.; GOULART, S. M.; PIMENTEL, L. D. Air drying of macauba fruits: maintaining oil quality for biodiesel production. **Acta Scientiarum**, v. 42 e-4351, 2020.

TILAHUM, W. W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P.; SEDIYAMA, C. S.; GOULART, S. M.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y. Increase in oil content and changes in quality of macauba mesocarp oil along storage. **OCL**, v. 26, n. 20, p. 1-8. 2019.

TOLÊDO, D. de P. Análise técnica, econômica e ambiental de macaúba e de pinhão-mansão como alternativas de agregação de renda na cadeia produtiva de biodiesel.

(2010). Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – UFV - Campus Viçosa, MG, 2010.

3. Capítulo 2: Qualidade pós-colheita de frutos de macaúba submetidos a secagem a baixa temperatura e armazenados sob umidade controlada

RESUMO

O crescente interesse na cultura da macaúba se justifica devido aos vários usos de seus produtos e a sua elevada produtividade. O óleo extraído tanto da polpa quanto da amêndoa pode ser utilizado para a alimentação humana, para a produção de biocombustíveis e na indústria tanto de fármacos quanto de cosméticos. Entre os desafios da domesticação da cultura destacam-se a colheita extrativista, a sazonalidade da colheita e o alto percentual de umidade inicial. Para a industrialização e comercialização de óleo de macaúba de alta qualidade é necessário solucionar estes entraves. Portanto, o objetivo desse trabalho foi testar a secagem a baixa temperatura e diferentes umidades de armazenamento ao longo do tempo. Para tal, os frutos foram colhidos diretamente nas árvores, selecionados e sanitizados. Após estas etapas, os frutos foram secos em secador vertical com circulação forçada de ar a temperatura ambiente até atingirem 12 e 16% de umidade. Em seguida, os frutos foram armazenados em condições ambientais por até 190 dias. Para a avaliação das características do óleo ao longo do período de armazenamento foram realizadas análises de índice de acidez, estabilidade oxidativa e teor de óleo. Concluímos que para o índice de acidez não houve diferença entre armazenar os frutos a 12 ou a 16%, embora a secagem a baixa temperatura tenha desacelerado o processo de acidificação. Concluiu-se que armazenar frutos a 12% de umidade é mais eficiente para a manutenção da estabilidade oxidativa e que a secagem a baixa temperatura favoreceu o acúmulo de óleo até os 92 dias tanto para frutos armazenados a 16 e 12% de umidade embora os frutos armazenados a 16% tenham apresentado maior acúmulo de óleo ao longo do armazenamento.

Palavras-chave: Armazenamento; Estabilidade Oxidativa; Índice de Acidez; Óleos Vegetais; Qualidade; Teor de Óleo.

ABSTRACT

The growing interest in macaúba cultivation is justified by the various uses of its products and its high productivity. The oil extracted from both the pulp and the kernel can be utilized for human consumption, biofuel production, and in industries ranging from pharmaceuticals to cosmetics. Among the challenges of domesticating the crop are the extractive harvesting, the seasonality of the harvest, and the high initial moisture content. To industrialize and market high-quality macaúba oil, these obstacles must be addressed. Therefore, the aim of this study was to test low-temperature drying and different storage humidities over time. To achieve this, fruits were harvested directly from the trees, sorted, and sanitized. After these steps, the fruits were dried in a vertical dryer with forced air circulation at room temperature until reaching 12% and 16% humidity levels. Subsequently, the fruits were stored under ambient conditions for up to 190 days. To evaluate the oil characteristics throughout the storage period, analyses of acidity index, oxidative stability, and oil content were conducted. We concluded that for the acidity index, there was no difference between storing the fruits at 12% or 16% moisture, although low-temperature drying slowed the acidification process. It was concluded that storing fruits at 12% moisture is more efficient for maintaining oxidative stability and that low-temperature drying favored oil accumulation up to 92 days for both fruits stored at 16% and 12% moisture, although the fruits stored at 16% showed greater oil accumulation during storage.

Keywords: Storage; Oxidative Stability; Acidity Index; Vegetable Oils; Quality; Oil Content.

3.1 INTRODUÇÃO

A macaúba é uma palmeira nativa do cerrado brasileiro e dela extrai-se óleo do mesocarpo e da amêndoa. Tanto o óleo do mesocarpo quanto o da amêndoa são fortemente indicados para diversos usos (EVARISTO et al., 2016; CALLEGARI et al., 2014; MOTA et al., 2011; LORENZI et al., 2010). O óleo de macaúba sofre rápida acidificação em função da liberação de ácidos graxos livres. Por esta razão os frutos precisam ser processados o mais rápido possível (SOUZA, 2013; MOTA et al., 2011), ou armazenados de forma eficiente para garantir a qualidade dos produtos.

Dentre os grandes problemas ambientais que precisam ser resolvidos para a manutenção da vida no planeta destaca-se a perda e o desperdício de alimentos. Uma das maneiras de diminuir essas perdas são os estudos de novas tecnologias de colheita e pós-colheita com o intuito de prolongar a qualidade dos produtos hortícolas durante o armazenamento. O processo de armazenamento desempenha um papel fundamental na cadeia de produção, sendo seu principal objetivo controlar a deterioração natural que leva a alterações físico-químicas ao longo do tempo (OLIVEIRA et al., 2012). Durante o período de armazenamento, diversos fatores exercem influência significativa na qualidade do produto, incluindo a umidade, temperatura, disponibilidade de oxigênio, presença de microrganismos, riscos de infestação por roedores (SILVA et al., 2021) e até mesmo a maneira como a colheita é realizada (FRANCO, 2019).

A conservação pós-colheita, etapa que antecede o armazenamento, abrange uma variedade de métodos, com enfoque tanto em abordagens químicas quanto físicas. A conservação física envolve técnicas como a exposição à radiação, controle de temperatura e umidade, regulação da luz e ventilação, que desempenham um papel crucial no gerenciamento pós-colheita de produtos agrícolas (GHINI & BETTIOL, 1995).

Um dos métodos físicos mais utilizados para a conservação pós-colheita é a secagem, que visa eliminar a umidade até que o produto alcance o equilíbrio com o ar circundante (SILVA et al., 2008). A secagem oferece diversas vantagens nesse contexto, incluindo a preservação da estabilidade e qualidade dos produtos, uma vez que a redução do teor de água contribui para a diminuição da atividade biológica e microbiana (RESENDE et al., 2008). Destacam-se dois tipos de secagem: a natural e a artificial. A secagem natural caracteriza-se pela retirada de água do material de forma não forçada, enquanto a artificial conta com o auxílio de ar aquecido com ou sem umidade relativa controlada (OETTERER et al., 2006).

A secagem artificial pode ser conduzida em temperaturas tanto baixas quanto elevadas. A secagem a baixa temperatura ocorre quando a temperatura de secagem não excede 10°C em relação à temperatura ambiente; se ultrapassar essa diferença de 10°C, passa a ser considerada secagem em alta temperatura. A secagem a baixa temperatura é vantajosa, pois preserva as substâncias voláteis, conservando, desse modo, a qualidade original do produto. Por outro lado, a secagem em altas temperaturas é um procedimento mais rápido, porém, pode acarretar a deterioração da qualidade do produto (ELIAS, 2007).

Os frutos de macaúba têm uma alta umidade inicial e, por isso, deterioram-se rapidamente após a colheita (FRANCO, 2019). Por esse motivo, vários estudos têm sido realizados com o objetivo de encontrar a temperatura ideal para a secagem, visando prolongar a qualidade do óleo ao longo do período de armazenamento.

Diversos estudos relataram o comportamento dos frutos de macaúba durante o armazenamento após a secagem a altas temperaturas (SILVA et al., 2020; GONÇALVES, 2018; FAVARO et al., 2017; CARVALHO, 2010), entretanto é incipiente as informações acerca do comportamento de frutos de macaúba armazenados após a secagem a baixa temperatura.

Por esta razão, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade do óleo extraído da polpa de macaúba secos a baixa temperatura e submetidos a diferentes tempos de armazenamento

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba

Os frutos foram colhidos diretamente do cacho após a sua maturação natural nas palmeiras do Banco de Germoplasma de Macaúba, situado no município de Araponga (20° 40' 01" S; 42° 31' 15" O), pertencente ao departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Araponga tem uma temperatura média de 18°C e uma precipitação anual de 1.339 mm (JÚNIOR, 2009).

A colheita ocorreu em 16/03/2022, e em seguida os frutos foram transportados para a Universidade Federal de Viçosa, onde o experimento foi montado.

Os frutos recém-chegados foram avaliados e excluídos caso apresentassem rachaduras e/ou furos na casca, sinais de contaminação microbológica e sinais de ataques de insetos.

Passados pela vistoria, os frutos foram submetidos ao tratamento de sanitização. Os frutos ficaram imersos em hipoclorito de sódio 200 mg.L^{-1} por 10 minutos. Após a seleção e a sanitização, os frutos estavam prontos para serem submetidos aos tratamentos.

3.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos

Para determinar a umidade inicial dos frutos recém-colhidos, foi utilizado o método gravimétrico. Selecionamos aleatoriamente 100 frutos para conduzir o teste de umidade. Esses frutos foram então colocados em uma estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 105°C e pesados diariamente até que atingissem o equilíbrio higroscópico. Considera-se que o equilíbrio higroscópico foi alcançado quando três pesagens consecutivas não apresentaram alteração no peso. O teor de umidade foi calculado subtraindo o peso inicial do peso final.

Os resultados mostraram que os frutos apresentavam um teor de umidade inicial de 41,94%, conforme ilustrado na Figura 1.

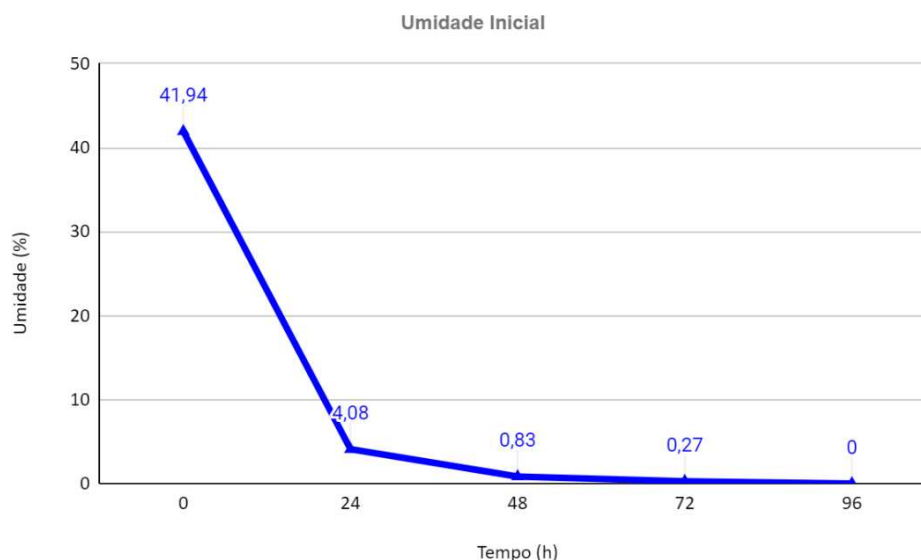


Figura 2: Umidade inicial observada dos frutos de macaúba secos em estufa com circulação forçada de ar a 105°C .

3.2.3 Secagem dos frutos

Foram selecionados 1560 frutos, divididos em dois ensaios distintos. Os frutos após selecionados e sanitizados foram pesados e levados a um secador vertical (Figura 2) com circulação forçada de ar e temperatura ambiente, localizado no galpão da Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa.



Figura 3: Secador vertical com circulação forçada de ar.

A caracterização do ambiente interno do secador foi determinada com auxílio de medidores de temperatura, vazão, umidade relativa e velocidade do ar. A temperatura média foi de 28,9°C, vazão de 1,6 m/s, umidade relativa de 63% e velocidade do ar de 3,76 m/s.

Os frutos foram pesados diariamente até atingirem as umidades de 16 e 12% (Ensaio I e Ensaio II). O percentual de água que os frutos deveriam perder para estarem com 16 e 12% de umidade foi calculado pela equação 1.

$$Q_u = \frac{(U_i - U_f)}{(100 - U_f)} * 100, \text{ onde} \quad \text{Equação 1}$$

Q_u = quebra de umidade;

U_i = umidade inicial (%);

U_f = Umidade Final (%);

O valor da quebra de umidade representa a porcentagem de água que o fruto precisa perder para estar com o percentual de umidade desejado. De posse do valor da quebra de umidade e do peso das amostras, por simples subtração, obtivemos o peso de cada amostra para cada percentual de umidade.

3.2.4 Armazenamento

Após atingirem a umidade desejada, os frutos foram transportados para o galpão do Laboratório de Pós-Colheita de macaúba da Universidade Federal de Viçosa, onde foram armazenados em condições ambientais em caixas que permitiam a ventilação dos mesmos por 0, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 128, 158 e 190 dias. Após decorridos os tempos de armazenamento, os frutos foram mantidos a -20°C em freezers até o momento das análises.

3.2.5 Extração do óleo de macaúba

O primeiro procedimento para conduzir as análises consistiu na extração do óleo dos frutos. Isso foi realizado por meio da remoção manual da polpa dos frutos com o uso de facas de aço inoxidável. A polpa obtida passou por um processo de secagem em uma estufa equipada com circulação e renovação do ar, mantida a uma temperatura de 65 °C, por um período de 16 horas. Isso permitiu a preparação para a subsequente prensagem mecânica, que foi realizada por meio de uma prensa hidráulica construída pelo Laboratório de Pós-Colheita de macaúba da UFV. O óleo obtido foi submetido a um processo de centrifugação a 4.000 rotações por minuto, durante 20 minutos. O líquido sobrenadante foi transferido para um recipiente âmbar e armazenado em um freezer a -20 °C até o momento das análises.

3.2.6 Análises Laboratoriais

O óleo extraído dos frutos foi avaliado quanto às características químicas: índice de acidez, teor de óleo e estabilidade oxidativa do óleo da polpa.

Para a obtenção do índice de acidez (IA), foi utilizado o método Ca 5a – 40 sugerido pela American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994), que leva em conta a quantidade de base necessária para a neutralização dos ácidos graxos de óleos e gorduras. Em um erlenmeyer de 125,0 mL foi adicionado 2,00 ± 0,10 g da amostra de óleo, 25 mL da solução neutra de éter etílico-álcool na proporção de 2:1, acrescido de quatro gotas de indicador fenolftaleína 0,4%. Em seguida, foi realizada a titulação com solução padronizada de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ e o índice de acidez calculado com base na equação 2:

$$IA = \frac{v \times f \times M \times 28,2}{P}, \text{ onde:} \quad \text{Equação 2}$$

IA = índice de acidez expresso em mg de NaOH.g⁻¹ (resultado apresentado em porcentagem de ácido oleico);

v = volume da solução de amostra de NaOH em mL, utilizado na titulação da amostra;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio encontrado com a padronização (adimensional);

M = molaridade da solução de NaOH utilizada;

P = peso da amostra em g.

A análise de estabilidade oxidativa também se baseou na metodologia da American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994). O equipamento utilizado foi o 873 Biodiesel Rancimat® (Metrhom, Suíça). Em um tubo de ensaio foram adicionados 2,50 ± 0,01 g de óleo da polpa da macaúba. Logo após, os tubos foram acoplados ao Rancimat. A

velocidade de fluxo de ar foi de 10,0 L.h⁻¹ e a temperatura de trabalho de 110°C. A oxidação foi acelerada pela passagem de ar pela amostra, mantendo a temperatura elevada. Os produtos voláteis da reação foram capturados pela água destilada, sendo a condutividade elétrica medida ao longo do tempo. Assim, foi possível determinar o período de indução, que configura o tempo decorrido do início da análise até a elevação brusca da condutividade elétrica. A estabilidade oxidativa do óleo é quebrada, quando o período de indução transcorre. Sendo assim, quanto maior o período de indução, maior a estabilidade oxidativa. Os resultados são expressos em horas (h).

O teor de óleo foi determinado pelo método Soxhlet modificado, utilizando-se extrator de óleos e graxas Marconi 044/8/50 (Marconi, Brasil). Primeiramente, a polpa previamente seca foi triturada e colocada em cartuchos de papel, anteriormente secos e pesados, pesando-se em seguida o conjunto cartucho + amostra. Os cartuchos contendo as amostras permaneceram imersos em solvente orgânico (hexano P.A.) por 2 h a 80 °C. Após este período, os cartuchos foram erguidos e novamente imersos no solvente por 5 vezes durante 1 h. Por fim, a temperatura do solvente foi elevada a 110 °C e as amostras foram lavadas com o solvente recuperado no condensador. Após a extração, as amostras foram secas a 65 °C em estufa de circulação e renovação de ar por 16 h, sendo então os cartuchos com as amostras novamente pesados. O teor de óleo da polpa foi calculado pela equação 3:

$$\text{TOP (\%)} = \frac{P1 - P2}{P1 - Pt} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{Equação 3}$$

P1: peso do cartucho + amostra antes da extração (g);

P2: peso do cartucho + amostra após a extração (g);

Pt: peso do cartucho (g).

3.2.7 Análise Estatística

O experimento foi conduzido como um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições (20 frutos cada), totalizando 26 tratamentos (2 percentuais de umidade e 13 tempos de armazenamento). Os dados serão submetidos a análise de regressão a 5% de significância com auxílio do software R. Os modelos foram baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t”, e o coeficiente de determinação (R²).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para alcançarem a umidade de 16 e 12% foram necessários que as amostras perdessem em média 30,88% e 34,02% de massa (Figura 3). A perda de massa é consequente da perda de água provocada pelo processo de secagem (SILVA et al., 2008).

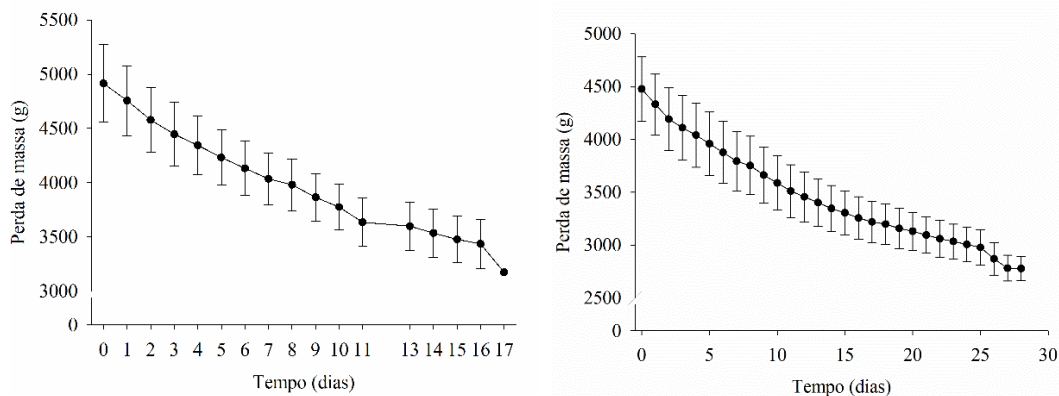


Figura 4: Valores médios e desvio padrão de perda de massa para os respectivos dias de avaliação para as respectivas umidades dos frutos de macaúba (a) até 16% de umidade; (b) até 12% de umidade.

O tempo de secagem é inverso ao teor de umidade, ou seja, quanto menor a umidade desejada, maior será o tempo gasto no processo de secagem. Gonçalves (2018), ao estudar o processo de secagem de frutos de macaúba em diferentes temperaturas constatou este mesmo padrão.

Os dados observados para a umidade seguem o mesmo comportamento dos dados observados para a perda de massa. Os frutos necessitaram em média de 16,33 dias para atingirem a umidade de 16% e de 26,42 dias para atingirem a umidade de 12% (Figura 4). Todos os trabalhos realizados até hoje com secagem de frutos de macaúba apresentaram tempos de secagem inferiores (GONÇALVES, 2018; FAVARO et al., 2017; MARTINS, 2013) entretanto, todos eles utilizaram o processo de secagem a altas temperaturas enquanto este estudo procedeu da secagem a baixa temperatura.

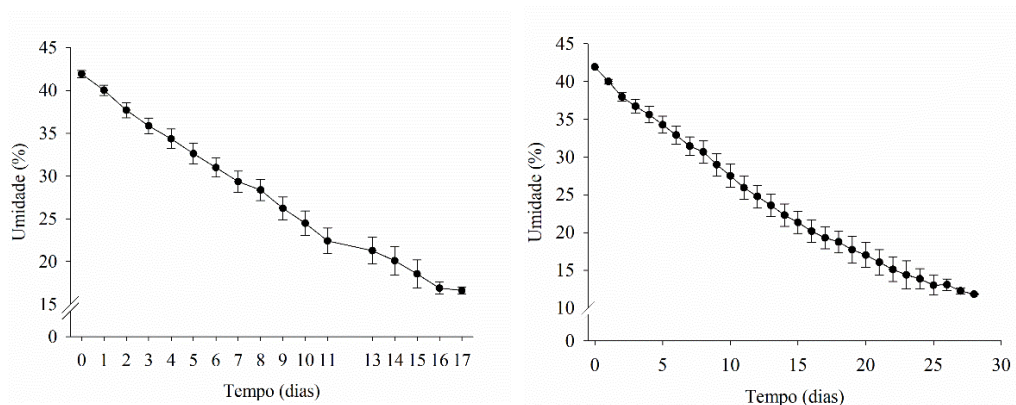


Figura 5: : Valores médios e desvio padrão de perda de umidade para os respectivos dias de avaliação para as respectivas umidades dos frutos de macaúba (a) até 16% de umidade; (b) até 12% de umidade.

Goulart (2014), estudando frutos de macaúba armazenados em condições ambientais constatou que após 45 dias de armazenamento os frutos ainda estavam perdendo massa. Esse comportamento é atribuído a atividade climatérica dos frutos e ao alto teor de umidade inicial dos frutos (EVARISTO et al., 2017; GOULART, 2014). Martins (2013), constatou que para alcançar 19,62 e 8,24% de umidade foram gastos oito dias a 45 e 65°C respectivamente.

Para a avaliação da qualidade do óleo procedeu-se com as análises de índice de acidez (IA), estabilidade oxidativa (EO) e teor de óleo (TO).

Para o índice de acidez a interação entre umidade e tempo de armazenamento não foi significativa. Estudando-se os efeitos isolados, o tempo de armazenamento foi significativo e a umidade não significativa, indicando que não existe diferença entre armazenar frutos de macaúba a 16 e a 12% de umidade em relação ao índice de acidez. Foi constatado que quanto maior o tempo de armazenamento maior foi o IA (Figura 5). O óleo da polpa manteve um IA próximo de 7% até aproximadamente os 10 dias de armazenamento.

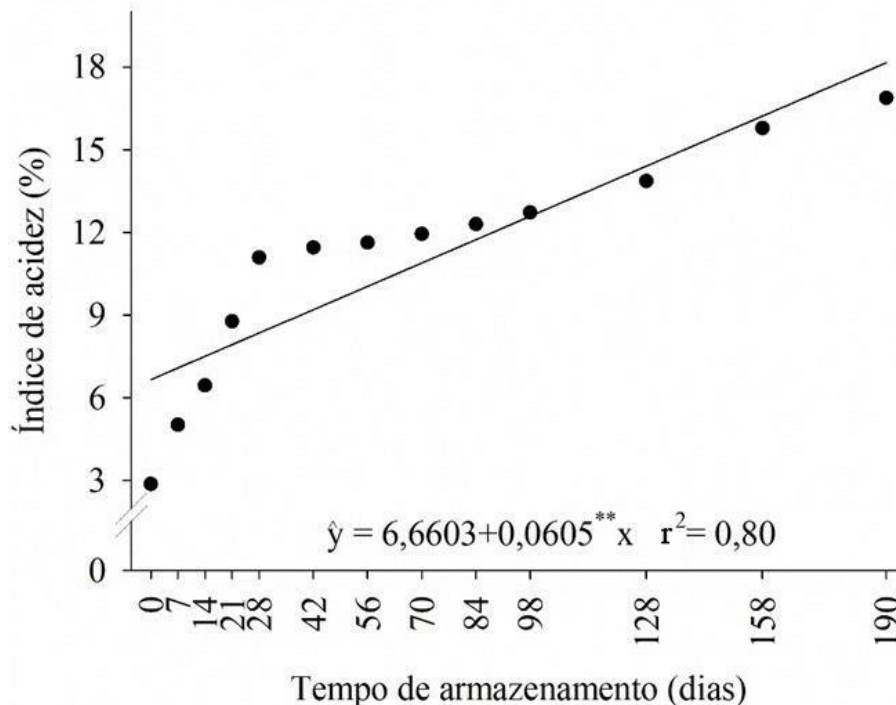


Figura 6: Índice de acidez em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Martins (2013), estudando frutos de macaúba armazenados com 17,94 e 8,24% de umidade constataram que os frutos armazenados com maior teor de umidade apresentaram maior taxa de deterioração, entretanto a diferença entre os dois tratamentos era de aproximadamente 10%. A não significância da umidade deste estudo é provavelmente explicada pela baixa diferença das umidades de armazenamento. A presença de água favorece as reações de hidrólise que quebram os triacilgliceróis em ácidos graxos livres, consequentemente aumentando o IA (NOGALA-KALUCKA et al., 2005; ARAÚJO, 2004). Frutos de macaúba armazenados em condições ambientais por 40 dias apresentaram IA próximo de 28% (EVARISTO, 2015), enquanto este estudo mostrou IA médio aos 42 dias de 9,20, evidenciando que a secagem a baixa temperatura diminuiu a velocidade de acidificação do óleo.

Outro parâmetro frequentemente estudado para a avaliação da qualidade de óleos vegetais é a estabilidade oxidativa. A interação entre tempo de armazenamento e umidade foi significativa. Foi possível constatar que até os 28 dias de armazenamento, os frutos armazenados a 12% de umidade apresentaram maior estabilidade oxidativa (Figura 6), indicando que armazenar frutos com 12% de umidade é mais eficaz para a diminuição da perda da EO. A diminuição da estabilidade oxidativa com o passar do tempo foi observada em diversos estudos com diferentes tecnologias pós-colheita (TILAHUM et al., 2019; FRANCO, 2019; GOULART, 2018; EVARISTO, 2015).

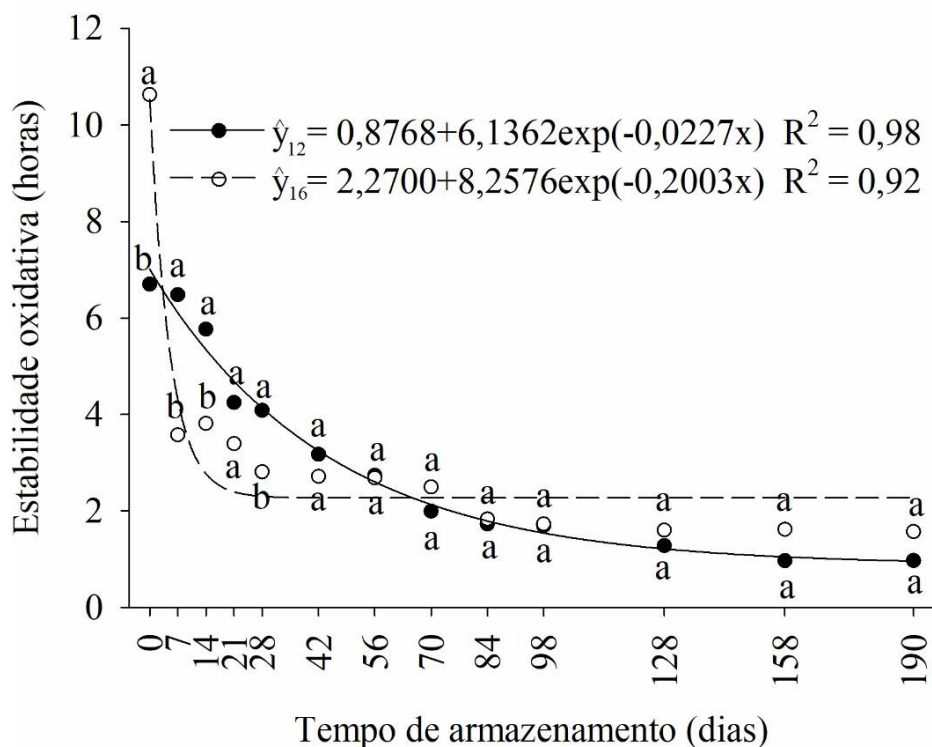


Figura 7: Estabilidade oxidativa em função da umidade de armazenamento e do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Conforme as orientações definidas no Regulamento Técnico nº 3/2014, incorporado na Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014, o biodiesel deve possuir um período mínimo de resistência à deterioração oxidativa de 6,0 horas (ANP, 2014). Portanto, apenas os óleos dos frutos dos tratamentos controle (EO de 14,19 horas) e, dos frutos armazenados até 7,94 dias a 12% de umidade e frutos armazenados até 3,96 dias a 16% de umidade podem ser utilizados para este fim.

Frutos armazenados por 120 dias após secagem por oito dias a 45°C apresentaram estabilidade oxidativa de 0,16 horas (MARTINS, 2013), enquanto frutos secos a baixas temperaturas e armazenados por 128 dias apresentaram EO média de 1,21 horas (756% maior), inferindo que secagens a altas temperaturas aceleram a perda de qualidade do óleo. Isso se deve ao comportamento físico-químico do fruto sob condições de alta temperatura. O processo de secagem promove reações físico-químicas nas moléculas dos frutos, uma vez que remove a água que normalmente os protege nos sítios reativos. Isso permite que as moléculas se aproximem mais, aumentando a probabilidade de interação entre elas. A remoção de água também cria micro canais no fruto, tornando mais fácil o contato com o oxigênio atmosférico. Isso, combinado com a temperatura do processo, acelera as reações químicas de oxidação e hidrólise, o que afeta a estabilidade (BOBBIO

& BOBBIO, 2001; ARAUJO, 2004). Por isso o objetivo é encontrar o melhor binômio (temperatura de secagem e teor de umidade) para que se consiga diminuir a velocidade de deterioração dos óleos o máximo possível.

A macaúba é um fruto climatérico portanto, continua seu processo de amadurecimento após a colheita, culminando em um considerável aumento no teor de óleo. A interação entre os fatores não foi significativa, entretanto, estudando-se os fatores isolados encontrou-se significância tanto para o tempo de armazenamento quanto para a umidade de armazenamento. Em relação ao tempo de armazenamento constatou-se aumento (até certo ponto) do acúmulo de óleo (Figura 7). A secagem a baixa temperatura permitiu que os frutos continuassem acumulando óleo até os noventa e dois dias de armazenamento antes de iniciar o processo de diminuição do teor de óleo. Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba colhidos no chão e no cacho submetidos a diferentes técnicas de pós-colheita encontrou resultados semelhantes ao deste estudo, entretanto a redução no conteúdo de óleo iniciou-se aos 40 dias de armazenamento.

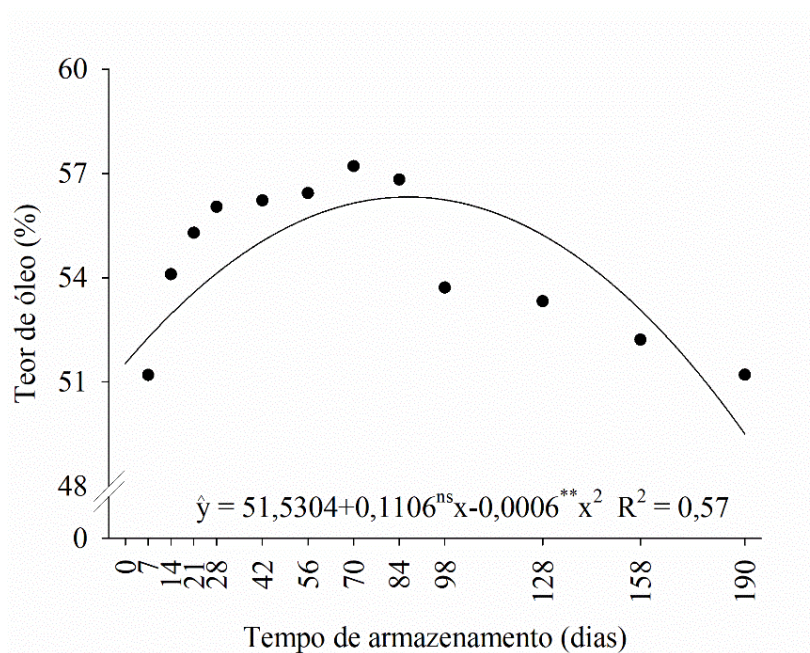


Figura 8: Teor de óleo em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

O acúmulo de óleo em frutos de macaúba está associado a conversão do amido armazenado em lipídeos (SALAS et al., 2000) e essas reações do metabolismo são intimamente relacionadas com a presença de água (GONÇALVES, 2018; QUEIROZ & ANDRADE, 2016). Provavelmente, isso explica o maior acúmulo e a menor redução no período final de armazenamento apresentado por frutos armazenados a 16% (Figura 8).

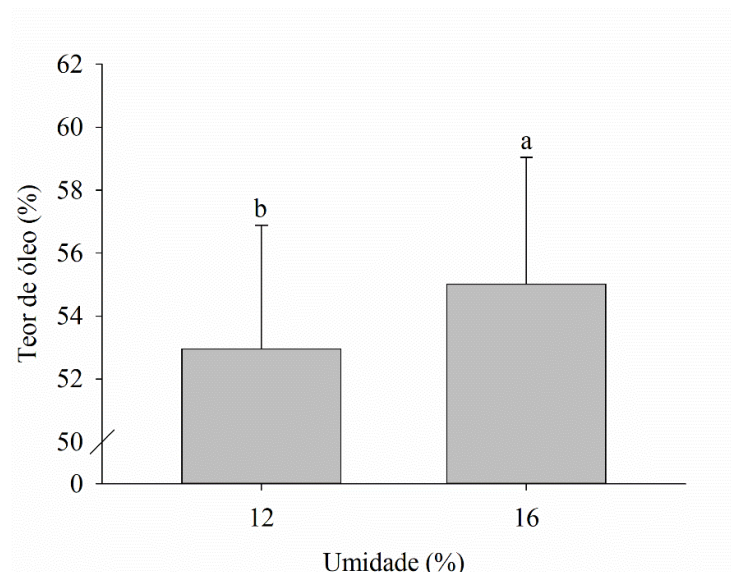


Figura 9: Teor de óleo em função da umidade. Barras com letras diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4 CONCLUSÃO

As técnicas empregadas foram eficientes em diminuir a velocidade de deterioração do óleo de macaúba. Para o índice de acidez não houve diferença em armazenar os frutos a 12 e a 16% de umidade.

O armazenamento dos frutos com 12% de umidade foi mais eficiente na manutenção da EO. Frutos secos a baixa temperatura reduziram a taxa de oxidação dos frutos ao longo do tempo de armazenamento.

O teor de óleo foi afetado positivamente pelo tempo de armazenamento. O acúmulo de óleo continuou até os 92 dias de armazenamento. O maior teor de óleo foi constatado em frutos armazenados com 16% de umidade.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. Champaign: 1994.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. UFV, 2. ed., 2004, 416p.

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

CALLEGARI, F. C.; CREN, E. C.; ANDRADE, M. H. C. Perspectivas da utilização dos óleos da Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart) no desenvolvimento de cosméticos. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20,

2014, Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: ABEQ, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3saeast1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0790-23843-177716.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.

CARVALHO, F. M. **Influência da temperatura do ar de secagem e da utilização do ácido etilenodiaminotetracético na qualidade do óleo e caracterização do fruto de macaúba.** (2010). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2010.

ELIAS, M. C. **Pós-Colheita de arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade.** Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422p.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81-92, 2017.

EVARISTO, A. B. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). (2015). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG.

FAVARO, S. P.; TAPETI, C. F.; MIRANDA, C. H. B.; CICONINI, 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: e-1603373, 2017.

FRANCO, W. C. G. **Frequência de queda e avaliação do uso de coletor na conservação pós-colheita de frutos de macaúba.** (2019). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa - UFV - Campus Viçosa, MG, 2019.

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

GONÇALVES, M. G. **Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar.** (2018). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

GOULART, S. M. **Colheita e pós-colheita de macaúba: Qualidade do óleo da polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na alimentação animal.** (2018). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

GOULART, S. M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel.** (2014). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2014.

JÚNIOR, A. de S. **Aplicação da classificação de Koppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 101 f. 2009. - Universidade Federal de Lavras, [s. l.], 2009.

LORENZI, H.; NOBLICK, L. R., KAHN, F.; FERREIRA, E. **Flora Brasileira: Arecaceae (Palmeiras)**. Nova Odessa: Plantarum, 2010. 384 p.

MARTINS, A. D. **Radiação Gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de Macaúba**. (2013). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV - Campus Viçosa. MG, 2013.

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

NOGALA-KALUCKA, M.; KORCZAK, J.; DRATWIA, M.; LAMPSRT-SZCZAPA, E.; SIGER, A.; BUCHOWSKI, M. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. **Food Chemistry**, v. 93, p. 227-235, 2005.

OLIVEIRA, C.; SILVA, B. M. S.; SADER, R.; MORÔ, F. V. Armazenamento de sementes de carolina em diferentes temperaturas e embalagens. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 68-74, 2012.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. (2006). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri, SP: Manole.

QUEIROZ, L. A. B.; ANDRADE, M. H. C. Characteristics of pulp and oil from Macauba (*Acrocomia Aculeata*) after different post-harvest treatments and storage. **International Journal of Environmental & Agriculture Research**, v. 2, n. 3, p. 46-53. 2016.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

SALAS, J. N. J.; SÁNCHEZ, J.; RAMLI, U. S.; MANAF, A. M.; WILLIAMS, M.; HARWOOD, J. L. Biochemistry of lipid metabolism in olive and other oil fruits. **Progress in lipid research**, v. 39, n. 2, p. 151-180, 2000. ISSN 0163-7827.

SILVA, A. O.; SILVA, A. O.; GOMES, J. A.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, D. A. S.; VIEGAS, I. J. M. Armazenamento de grãos na agricultura familiar: principais problemáticas e formas de armazenamento na região nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2021.

SILVA, V. M. da.; GUIMARÃES, R. D. A.; CAMPOS, R. P.; BORSATO, A. V.; HIANE, P. A.; DONADON, J. R. Drying and storage of macaúba fruit: chemical and oxidative stability. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 865-878, 2020.

SILVA, M. R.; LACERDA, D. B. C. L.; SANTOS, G. G.; MARTINS, D. M. O. Caracterização química de frutos nativos do cerrado. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1790-1793, 2008.

SOUZA, C. F. T. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (Acrocomia aculeata)**. (2013). Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco – UCDB – Campus Campo Grande, MT, 2013.

TILAHUM, W. W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P.; SEDIYAMA, C. S.; GOULART, S. M.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y. Increase in oil content and changes in quality of macauba mesocarp oil along storage. **OCL**, v. 26, n. 20, p. 1-8. 2019.

4. Capítulo 3: Simulação de um silo secador-armazenador na qualidade pós-colheita de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*).

RESUMO

A industrialização e comercialização de óleo de macaúba de alta qualidade dependem de vários fatores, com destaque para o completo entendimento do processo pós-colheita. Os frutos possuem um elevado teor de umidade inicial, o que acelera as reações de rancificação do óleo. Além disso, a colheita, realizada de forma extrativista e limitada a poucos meses do ano, exige investimentos significativos em infraestrutura industrial para garantir o rápido processamento dos frutos e evitar a degradação da qualidade do óleo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar diferentes tecnologias de pós-colheita com a intenção de prolongar a vida útil do óleo pelo maior período possível. Para isso, frutos de macaúba foram colhidos diretamente no cacho, transportados, selecionados e sanitizados. Em seguida, foram submetidos à secagem a baixa temperatura em secador vertical com circulação forçada de ar e temperatura ambiente até atingirem 2% de umidade. Após atingirem a referida umidade, os frutos foram armazenados no mesmo ambiente em que foram secos, a fim de simular um silo secador-armazenador. Para avaliar a qualidade do óleo, foram realizadas análises de índice de acidez (IA), estabilidade oxidativa (EO) e teor de óleo (TO). Para o índice de acidez, foram encontrados resultados satisfatórios, ou seja, o IA manteve-se em níveis aceitáveis para o consumo humano até os seis meses de armazenamento. Em relação à estabilidade oxidativa, o óleo manteve-se em níveis adequados para a indústria de biocombustíveis por apenas 17 dias. Já quanto ao teor de óleo, observaram-se comportamentos diferentes, sendo o período de secagem não significativo e o período de armazenamento influenciando negativamente o acúmulo de óleo. Conclui-se que os tratamentos pós-colheita apresentados neste estudo são indicados para a manutenção da qualidade do óleo de macaúba por até seis meses.

Palavras chaves: Armazenamento; Baixa Temperatura; Óleo Vegetal; Qualidade; Secagem.

ABSTRACT

The industrialization and commercialization of high-quality macaúba oil depend on several factors, with a thorough understanding of the post-harvest process being key. The fruits have a high initial moisture content, which accelerates the rancidity reactions of the oil. Additionally, the harvest is carried out in an extractive manner and is limited to a few months of the year, requiring significant industrial investment to ensure the rapid processing of the fruits and prevent the degradation of oil quality. Therefore, the aim of this study was to test different post-harvest technologies with the intention of extending the oil's shelf life for as long as possible. To achieve this, macaúba fruits were harvested directly from the bunch, transported, sorted, and sanitized. Subsequently, they were subjected to low-temperature drying in a vertical dryer with forced air circulation at room temperature until reaching 2% humidity. Once they reached this humidity level, the fruits were stored in the same environment where they were dried, to simulate a drying-storage silo. To assess the oil quality, analyses of acidity index (AI), oxidative stability (OS), and oil content (OC) were conducted. Satisfactory results were found for the acidity index, as it remained at acceptable levels for human consumption for up to six months of storage. However, regarding oxidative stability, the oil remained at adequate levels for the biofuel industry for only 15 days. As for the oil content, different behaviors were observed, with the drying period being non-significant and the storage period negatively influencing oil accumulation. It is concluded that the post-harvest treatments presented in this study are recommended for maintaining the quality of macaúba oil for up to six months.

Keywords: Storage; Low Temperature; Vegetable Oil; Quality; Drying.

4.1 INTRODUÇÃO

Em 2011, um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura estimou que a cada ano, impressionantes 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são perdidas ou desperdiçadas (FAO, 2011). Em 2017, uma pesquisa mais atual conduzida pela FAO destacou que, anualmente, 14% das perdas de alimentos de origem vegetal ocorrem na etapa de pós-colheita e pré-processamento (FAO, 2017).

Por esse motivo, o problema do desperdício de alimentos tem ganhado uma crescente importância nas agendas governamentais nos últimos anos (COSGUN; ÖZBÜK, 2020). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), ressaltam a necessidade de adotar práticas de produção e consumo sustentáveis. O ODS 12, que se concentra em consumo e produção responsáveis, inclui uma meta específica, que visa reduzir pela metade o desperdício de alimentos no nível de varejo e consumo, além de diminuir as perdas de alimentos em toda a cadeia de produção e fornecimento (UN, 2015; LUDWIG-OH et al., 2019).

Neste sentido técnicas que aumentem a vida útil pós-colheita de produtos hortícolas vem sendo amplamente estudadas. Um dos principais métodos físicos empregados para a preservação de produtos após a colheita é a secagem, cujo propósito é reduzir o teor de umidade até que este se estabilize com as condições do ambiente circundante (SILVA et al., 2008). A secagem apresenta várias vantagens nesse contexto, contribuindo para a manutenção da estabilidade e qualidade dos produtos, uma vez que a diminuição do teor de água minimiza a atividade biológica e microbiana (RESENDE et al., 2008). Existem dois principais tipos de secagem: a natural, que envolve a eliminação da água do material de maneira não forçada, e a artificial, que faz uso de ar aquecido, com ou sem controle da umidade relativa (OETTERER et al., 2006).

A secagem artificial pode ser conduzida a temperaturas tanto baixas quanto elevadas. A secagem a baixa temperatura ocorre quando a temperatura de secagem não ultrapassa 10°C em relação à temperatura ambiente. Caso essa diferença de 10°C seja excedida, passa a ser considerada secagem em alta temperatura. A secagem em altas temperaturas é um processo mais rápido, entretanto pode resultar na deterioração da qualidade do produto. Por outro lado, a secagem a baixa temperatura oferece vantagens, uma vez que preserva os compostos voláteis, mantendo a qualidade original do produto. (ELIAS, 2007).

A macaúba (*Acrocomia aculeata*), uma palmeira nativa do cerrado brasileiro que apresenta inúmeros usos potenciais e, tem como um dos maiores desafios para a domesticação da cultura os processos de pós-colheita. O produto de maior valor agregado, o óleo extraído da polpa, apresenta elevada perecibilidade e, por este motivo, necessita de rápido processamento. Adicionalmente, a frutificação ocorre apenas uma vez ao ano e em um período restrito (novembro a março a depender da região). Estes dois fatores em conjunto, tornam os investimentos industriais elevados, visto a necessidade de uma grande indústria com elevada capacidade de processamento.

Alguns estudos já foram realizados a fim de entender o comportamento pós-colheita dos frutos de macaúba após secagem natural e artificial a altas temperaturas. Frutos de macaúba colhidos após a maturação seguida de secagem natural perderam sua viabilidade após aproximadamente 20 dias (TILAHUM, et al., 2019), enquanto frutos secos de forma artificial em estufa de circulação forçada a 60°C perderam sua viabilidade após 24 horas (FÁVARO, et al., 2017). Gonçalves et al., (2018) estudando a cinética de secagem de frutos de macaúba determinou que temperaturas superiores a 56,6°C possuem ação negativa na qualidade do óleo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do óleo de macaúba durante o processo de secagem a baixa temperatura e seu comportamento durante o armazenamento sob as mesmas condições de secagem, a fim de simular um silo secador-armazenador, que seria o processo mais ideal para o ambiente industrial.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Coleta e Seleção dos frutos de macaúba

Os frutos foram colhidos diretamente do cacho após sua maturação natural nas palmeiras do Banco de Germoplasma de Macaúba, localizado em Araponga (20° 40' 01" S; 42° 31' 15" O), pertencente ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Araponga possui uma temperatura média de 18°C e uma precipitação anual de 1.339 mm (JÚNIOR, 2009).

A colheita ocorreu em 25/04/2022, e os frutos foram subsequentemente transportados para a Universidade Federal de Viçosa, onde o experimento foi conduzido.

Os frutos recém-colhidos foram submetidos a uma avaliação criteriosa, na qual qualquer sinal de rachaduras, perfurações na casca, vestígios de contaminação microbiológica ou evidências de ataques por insetos resultaram em sua exclusão. Após essa etapa de triagem inicial, os frutos passaram por um processo de desinfecção. Nesse

processo, foram imersos em uma solução de hipoclorito de sódio com uma concentração de 200 mg/L, permanecendo nessa solução por um período de 10 minutos. Após a seleção e a desinfecção, os frutos estavam prontos para seguir para as etapas subsequentes.

4.2.2 Determinação da Umidade Inicial dos Frutos de Macaúba

Para determinar a umidade inicial dos frutos recém-colhidos, utilizou-se o método gravimétrico. Foi selecionado aleatoriamente um grupo de 100 frutos para conduzir o teste de umidade. Esses frutos foram então colocados em uma estufa com circulação forçada de ar, mantida a uma temperatura de 35°C, e pesados diariamente até que atingissem o equilíbrio higroscópico. Considerou-se que o equilíbrio higroscópico foi alcançado quando três pesagens consecutivas não apresentaram variação no peso. O teor de umidade foi calculado subtraindo-se o peso inicial do peso final.

Os resultados indicaram que os frutos possuíam um teor de umidade inicial de 41,00%, conforme demonstrado na Figura 1.

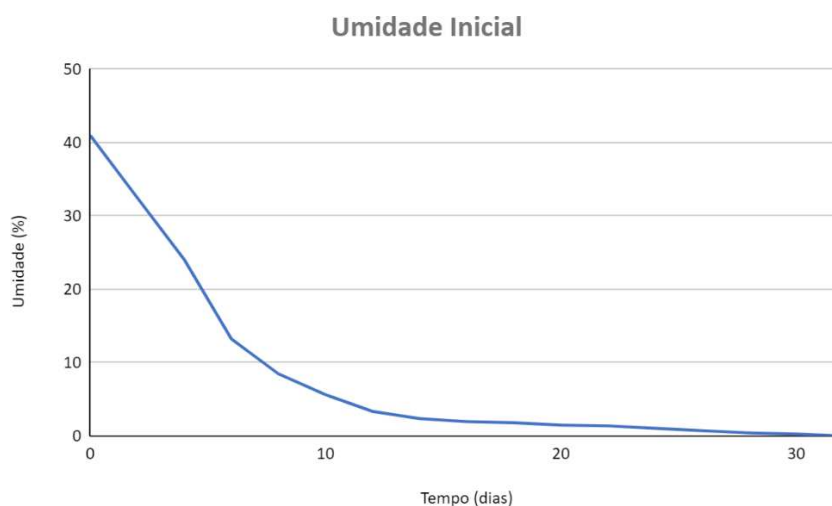


Figura 10: Umidade inicial observada dos frutos de macaúba secos em estufa com circulação forçada a 35°C.

4.2.3 Secagem e Armazenamento

Um total de 1440 frutos foram selecionados, desinfetados, pesados e encaminhados para um secador vertical (Figura 2), com circulação de ar forçada e temperatura ambiente. Esse secador fica localizado no galpão da Engenharia Agrícola, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.



Figura 11: Secador vertical com circulação forçada de ar.

A caracterização do ambiente interno do secador foi determinada com auxílio de medidores de temperatura, vazão, umidade relativa e velocidade do ar. A temperatura média foi de 28,9°C, vazão de 1,6 m/s, umidade relativa de 63% e velocidade do ar de 3,76 m/s.

O experimento foi conduzido em dois ensaios distintos:

Ensaio I: avaliação da qualidade do óleo de macaúba durante o processo de secagem. Para este ensaio foram necessários 600 frutos, que foram retirados em períodos de tempos determinados (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 dias) com o objetivo de acompanhar o comportamento dos frutos durante o processo de secagem.

Ensaio II: Após a secagem iniciou-se o processo de armazenamento. Considerou-se que o processo de secagem foi finalizado quando os frutos alcançaram um percentual de 2% de umidade. Os frutos foram armazenados nas mesmas condições em que foram secos, ou seja, em secador vertical com circulação forçada de ar e temperatura ambiente. Após alcançarem 2% de umidade, iniciou-se a contagem do período de armazenamento e foram retiradas amostras após 0, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 128, 158, 188, 218 dias para a realização das análises químicas do óleo

É importante ressaltar que para a verificação do tempo total dos frutos após a colheita, é necessário somar o tempo de secagem mais o tempo de armazenamento.

Os frutos foram pesados diariamente até atingirem a umidade de 2% (Ensaio 1). O percentual de água que os frutos deveriam perder para estarem com 2% de umidade foi calculado pela equação 1.

$$Qu = \frac{(U_i - U_f)}{(100 - U_f)} * 100, \text{ onde:} \quad \text{Equação 1}$$

Qu = quebra de umidade (%);

Ui = umidade inicial (%);

Uf = Umidade Final (%);

O valor da quebra de umidade representa a porcentagem de água que o fruto precisa perder para estar com o percentual de umidade desejado.

4.2.4 Extração do óleo

O primeiro passo na realização das análises envolveu a extração do óleo dos frutos. Essa etapa foi realizada através da retirada manual da polpa dos frutos, utilizando facas de aço inoxidável. A polpa obtida foi submetida a um processo de secagem em uma estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C por um período de 16 horas. Isso preparou o material para a subsequente prensagem mecânica, que foi realizada por meio de uma prensa hidráulica construída pelo Laboratório de Pós-Colheita de macaúba da UFV.

O óleo obtido foi submetido ao processo de centrifugação a 4.000 rotações por minuto, com duração de 20 minutos. O óleo resultante dessa centrifugação foi transferido para um recipiente âmbar e armazenado em um freezer a -20°C até o momento das análises posteriores.

4.2.5 Análises Laboratoriais

O óleo extraído dos frutos foi, então, submetido a avaliações das suas características químicas, que incluíam a determinação do índice de acidez, a determinação do teor de óleo e a análise da estabilidade oxidativa do óleo da polpa.

Para determinar o índice de acidez (IA), seguimos o método Ca 5a-40, conforme sugerido pela American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994). Esse método avalia a quantidade de base necessária para neutralizar os ácidos graxos presentes em óleos e gorduras. O procedimento envolveu a seguinte sequência de passos:

1. Em um erlenmeyer de 125,0 mL, foram adicionados $2,00 \pm 0,10$ g da amostra de óleo.
2. Acrescentou-se 25 mL de uma solução neutra de éter etílico e álcool na proporção de 2:1.
3. Foram adicionadas quatro gotas de indicador fenolftaleína 0,4% à mistura.
4. Em seguida, procedeu-se à titulação da solução com uma solução padronizada de NaOH $0,1 \text{ mol. L}^{-1}$.
5. O índice de acidez foi calculado com base na Equação 2:

$$IA = \frac{v \times f \times M \times 28,2}{P}, \text{ onde:} \quad \text{Equação 2}$$

IA = índice de acidez expresso em mg de NaOH.g⁻¹ (resultado apresentado em porcentagem de ácido oleico);

v = volume da solução de amostra de NaOH em mL, utilizado na titulação da amostra;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio encontrado com a padronização (adimensional);

M = molaridade da solução de NaOH utilizada;

P = peso da amostra em g.

A análise de estabilidade oxidativa também se baseou na metodologia da American Oil Chemists' Society (AOCS, 1994). O equipamento utilizado foi o 873 Biodiesel Rancimat® (Metrhom, Suíça). Em um tubo de ensaio foram adicionados $2,50 \pm 0,01$ g de óleo da polpa da macaúba. Logo após, os tubos foram acoplados ao Rancimat. A velocidade de fluxo de ar foi de $10,0 \text{ L.h}^{-1}$ e a temperatura de trabalho de 110°C . A oxidação foi acelerada pela passagem de ar pela amostra, mantendo a temperatura elevada. Os produtos voláteis da reação foram capturados pela água destilada, sendo a condutividade elétrica medida ao longo do tempo. Assim, foi possível determinar o período de indução, que configura o tempo decorrido do início da análise até a elevação brusca da condutividade elétrica. A estabilidade oxidativa do óleo é quebrada, quando o período de indução transcorre. Sendo assim, quanto maior o período de indução, maior a estabilidade oxidativa. Os resultados são expressos em horas (h).

O teor de óleo foi determinado pelo método Soxhlet modificado, utilizando-se extrator de óleos e graxas Marconi 044/8/50 (Marconi, Brasil). A polpa previamente seca foi triturada e colocada em cartuchos de papel, anteriormente secos e pesados, pesando-se em seguida o conjunto cartucho + amostra. Os cartuchos contendo as amostras permaneceram imersos em solvente orgânico (hexano P.A.) por 2 h a 80°C . Após este período, os cartuchos foram erguidos e novamente imersos no solvente por 5 vezes durante 1 h. Por fim, a temperatura do solvente foi elevada a 110°C e as amostras foram lavadas com o solvente recuperado no condensador. Após a extração, as amostras foram secas a 65°C em estufa de circulação e renovação de ar por 16 h, sendo então os cartuchos com as amostras novamente pesados. O teor de óleo da polpa foi calculado pela equação 3:

$$\text{TOP (\%)} = \frac{P1 - P2}{P1 - Pt} \times 100, \text{ onde:} \quad \text{Equação 3}$$

P1: peso do cartucho + amostra antes da extração (g);

P2: peso do cartucho + amostra após a extração (g);

Pt: peso do cartucho (g).

4.2.6 Análise Estatística

O experimento foi conduzido como um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 repetições (20 frutos cada), totalizando dez tratamentos no ensaio I (10 períodos durante a secagem) e 14 tratamentos no ensaio II (14 períodos depois da secagem). Os dados foram submetidos a análise de regressão a 5% de significância com auxílio do software R. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t, adotando o nível de 5% de probabilidade no coeficiente de determinação (R²) e no fenômeno estudado.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Ensaio I

Durante o processo de secagem foi determinado os valores de índice de acidez, estabilidade oxidativa e teor de óleo.

O índice de acidez apresentou tendência positiva, logo com o aumento do período de secagem ocorreu o aumento do índice de acidez (Figura 3). Os valores variaram entre 1,27% para zero dias de secagem e 1,85% para sessenta dias de secagem. De acordo com a normativa da ANVISA (2005), óleos vegetais podem ser utilizados na alimentação humana desde que apresentem IA inferior a 5% de ácido oleico, logo frutos mantidos em condições de secagem por até 60 dias, são viáveis para a alimentação humana.

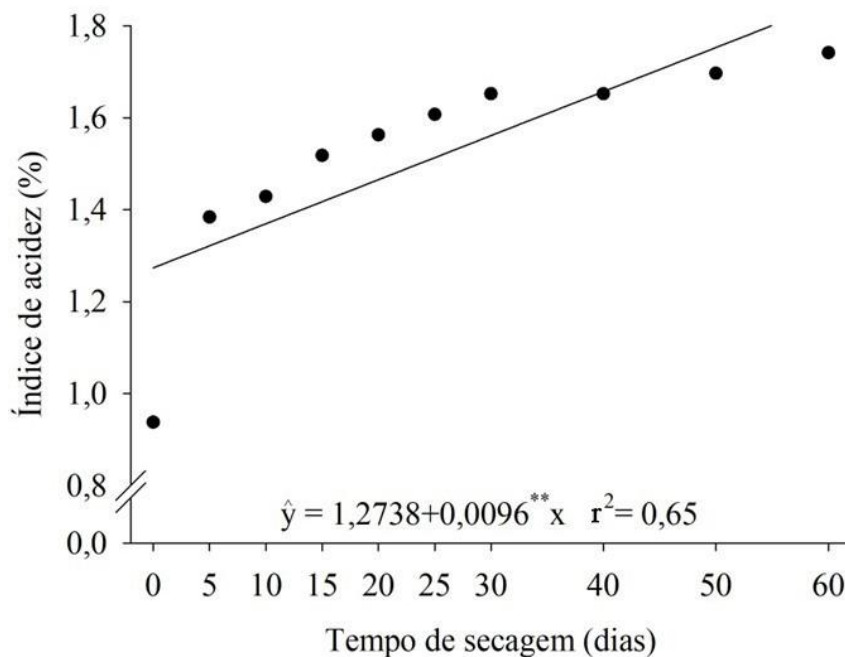


Figura 12: Figura 5: Índice de acidez em função do tempo de secagem. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

O acréscimo de ácidos graxos livres no óleo do mesocarpo resulta da atividade das lipases (E.C. 3.1.1.3; hidrolases de éster de glicerol) que realizam a hidrólise dos triacilgliceróis na presença de água. Essas enzimas são geradas por plantas, animais e microrganismos (SARMAH, et al., 2018), sendo que estes últimos são identificados como possíveis produtores de lipases liberadas para o meio extracelular (RATLEDGE; WYNN, 2002).

Evaristo (2015), estudando o processo de pós-colheita de frutos de macaúba submetidos ao armazenamento em um modelo de silo secador-armazenador com fluxo de ar encontrou índices de acidez superiores a 30% após decorridos 65 dias. Estes valores são significativamente superiores aos encontrados neste estudo que encontrou IA inferior a 2% após decorridos 60 dias.

Existem três possíveis explicações para tal ocorrido. A primeira delas é baseada na umidade relativa do ar (UR). A UR ideal para o crescimento e desenvolvimento de microrganismos é superior a 65% (SOUZA; MATOSKI, 2017), enquanto dentro do secador-armazenador, a UR média foi de 63%, podendo ter dificultado a proliferação de microrganismos endofíticos. A segunda possibilidade está associada a circulação forçada de ar que de certa forma diminui a capacidade dos frutos em absorver umidade do ambiente (SILVA, 2019). A terceira possibilidade se baseia na disposição dos frutos dentro do silo-secador, enquanto Evaristo (2015), manteve os frutos aglomerados,

diminuindo o fluxo de ar entre eles e consequentemente aumentando a umidade, o silo-secador deste estudo manteve os frutos em bandejas de forma despojada, favorecendo a ventilação e a diminuição da umidade.

A estabilidade oxidativa (EO) mede a resistência do óleo a altas temperaturas, parâmetro muito importante para a indústria de bicompostíveis. Durante a secagem a EO variou entre 14,92 e 2,87 horas, sendo o maior valor para zero dias de secagem e o menor valor para 60 dias de secagem (Figura 4). De acordo com a ANP (2014), matérias primas indicadas para a produção de biocombustíveis devem apresentar EO superior a 6 horas, logo os frutos de macaúba mantidos em ambiente de secagem por até 17,42 dias são apropriados para tal.

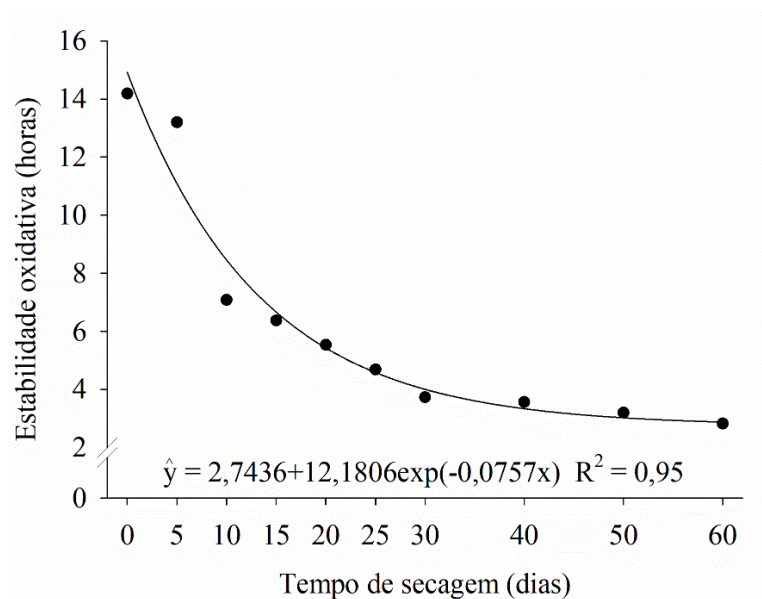


Figura 13: Estabilidade oxidativa em função do tempo de secagem. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Diversos estudos constataram o mesmo comportamento apresentado por este estudo, ou seja, com o decorrer do tempo, ocorre a diminuição da estabilidade oxidativa (FRANCO, 2019; GOULART, 2018, EVARISTO, 2015; MARTINS, 2013). Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba armazenados por 60 dias em um silo-secador-armazenador encontrou valores médios de 1,76 horas, enquanto neste estudo após 60 dias a EO encontrada foi de 2,87 horas corroborando com os resultados encontrados por este autor.

A estabilidade oxidativa é influenciada pela composição química e pela qualidade da matéria-prima, refletindo as condições a que o produto foi submetido durante o processamento e o armazenamento (TAN et al., 2002). A diminuição da estabilidade

oxidativa do óleo do mesocarpo é provavelmente, resultado da influência de microrganismos, da elevada concentração de oxigênio e da composição dos ácidos graxos do óleo (MEHER, et al., 2006). O processo de secagem ocasiona a remoção de água que cria micro canais no fruto, tornando mais fácil o contato com o oxigênio atmosférico, acelerando as reações químicas de oxidação, o que compromete a estabilidade oxidativa do material (BOBBIO & BOBBIO, 2001; ARAUJO, 2004).

Outro parâmetro frequentemente estudado em frutos de macaúba é o teor de óleo. Para o teor de óleo não foi observado acréscimo de óleo durante o período de secagem, logo o teor de óleo médio durante o processo de secagem foi de 49,72% (Figura 5).

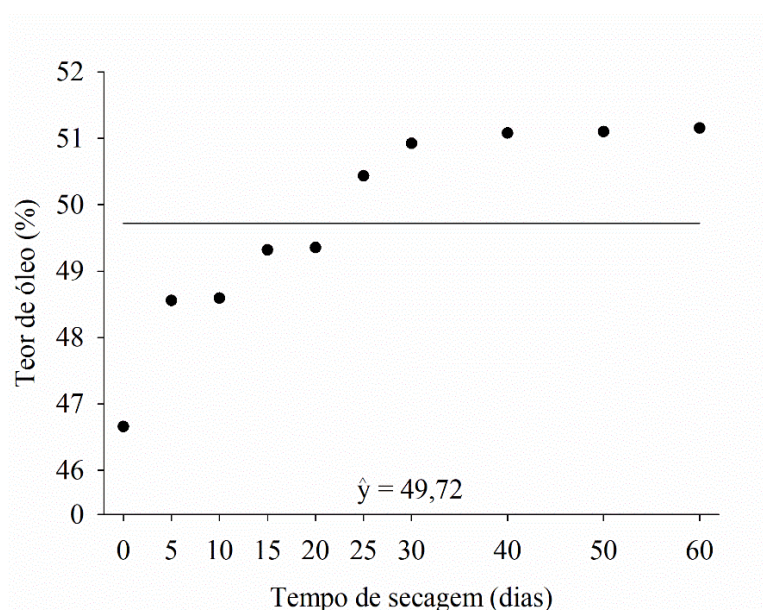


Figura 14: Teor de óleo em função do tempo de secagem. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Embora, Evaristo (2015), tenha encontrado valores superiores ao deste trabalho, alguns autores relatam valores inferiores. Evaristo et al., (2017) encontrou teores de óleo para frutos da região central e zona da mata mineira de 45,04 e 43,91% respectivamente. Coimbra e Jorge (2011), encontraram valores de 28,94% de TO em frutos coletados em São José do Rio Preto. Ciconini (2012), encontrou teor de óleo de 30,79, 19,06, 29,39 e 17,70% para frutos de macaúba coletados em Campo Grande, São Gabriel do Oeste, Corumbá e Aquidauana respectivamente. Essas diferenças são explicadas pela notável diversidade dentro da espécie *Acrocomia aculeata*, onde as plantas nativas do sul do Brasil, Mato Grosso do Sul e Paraguai, anteriormente conhecidas como *Acrocomia totai*, produzem frutos menores e com menor teor de óleo em comparação com as plantas de Minas Gerais (PIMENTEL et al., 2011).

A razão pela qual os frutos de macaúba continuam seu processo de conversão de amido a lipídeos após a colheita é explicada pelo comportamento climatérico dos frutos (GOULART, 2014).

4.3.2 Ensaio II

Foram necessários 92 dias para os frutos alcançarem a umidade de 2%. Decorrido esse tempo, iniciamos o período de armazenamento, logo, é necessário enfatizar que o tempo 0 de armazenamento, representa 92 dias após a colheita, o tempo 7 de armazenamento representa 99 dias após a colheita e assim sucessivamente.

O índice de acidez variou de 2,57% a 24,39% para 0 dias (92 dias) de armazenamento e para 218 dias (320 dias) de armazenamento (Figura 6). Como mencionado no ensaio I, a determinação da Anvisa determina valores máximos de 5% de acidez para óleos utilizados na alimentação humana, logo este experimento permitiu manter o óleo dentro deste limite até 84,31 dias (176 dias) de armazenamento. Neste sentido, os óleos poderiam ser armazenados por até 6 meses.

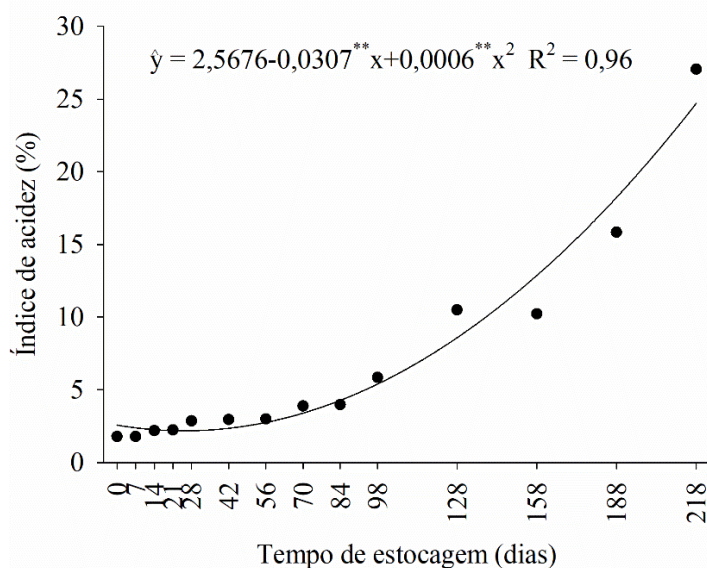


Figura 15: Índice de acidez em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Estes resultados são expressivos, visto que, não se tem registros na literatura de tratamentos pós-colheita que mantenham a qualidade do óleo por tanto tempo. Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba armazenados em silo secador-armazenador tratados com fungicida manteve o IA abaixo de 5% por no máximo 30 dias. Tilahum et al., (2019) armazenando frutos de macaúba em laboratório com condições ambientais manteve o IA

abaixo do limite por 20 dias. Franco (2019), armazenando frutos em condições de campo, manteve o IA abaixo do limite por até 21 dias. Silva et al., (2020), secando frutos de macaúba a 60°C com casca e sem casca obtiveram IA próximos a 5% por até 100 dias. Silva (2017), estudando métodos combinados de secagem e ozonização mantiveram o IA próximo a 5% por até 45 dias.

A justificativa mais plausível consiste na combinação de três fatores: secagem a baixa temperatura, a disposição dos frutos e a umidade relativa do ar abaixo de 65%. Altas temperaturas associadas com altas umidades aceleram as reações de degradação dos frutos. A forma como os frutos foram dispostos dentro do silo secador-armazenador permitiu a correta ventilação, evitando que a umidade aumentasse deliberadamente dentro do silo e a UR abaixo de 65% provavelmente dificultou o crescimento e desenvolvimento de fungos, culminando assim em um maior período de viabilidade do óleo.

Para a estabilidade oxidativa foram encontrados valores que variaram entre 2,73 e 0,92 horas (Figura 7). A ANP institui que os óleos devem apresentar EO superior a 6 horas para a produção de biocombustíveis, logo essas condições experimentais não foram suficientes para manter a EO em níveis aceitáveis.

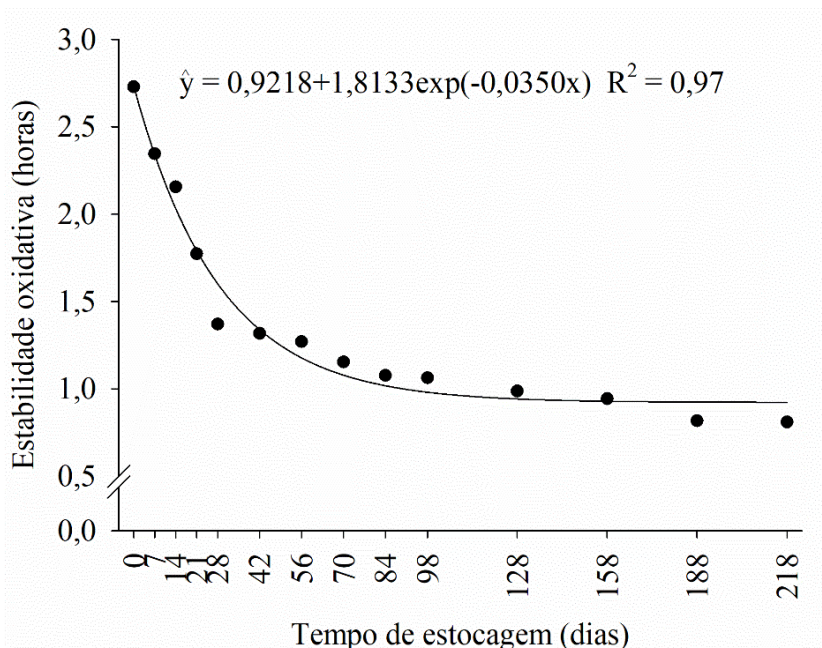


Figura 16: Estabilidade oxidativa em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Evaristo (2015), estudando frutos de macaúba em condições similares a este estudo encontrou valores médios de EO de 1,76 horas após 65 dias corroborando com os dados encontrados neste estudo, que encontrou EO de 2,73 para 0 dias de armazenamento

(92 dias após a colheita). A EO é dependente da composição do óleo, da presença de ligações insaturadas ou duplas nos ácidos graxos, da luz, da temperatura, de pró-oxidantes e antioxidantes, de enzimas e de condições de armazenamento (CABRERA et al., 2022).

A remoção de água cria micro canais no fruto, tornando mais fácil o contato com o oxigênio atmosférico que acelera as reações químicas de oxidação, o que afeta a estabilidade (ARAUJO, 2004). Além disso, a alta concentração de oxigênio fornecida pela circulação forçada de ar pode ter influenciado negativamente na manutenção da EO do óleo (EVARISTO, 2015).

O teor de óleo apresentou tendência decrescente com o decorrer do tempo de armazenamento (Figura 8). Os valores variaram entre 52,36 e 43,08% para 0 dias (92 dias após a colheita) e para 218 dias (320 dias após a colheita) respectivamente.

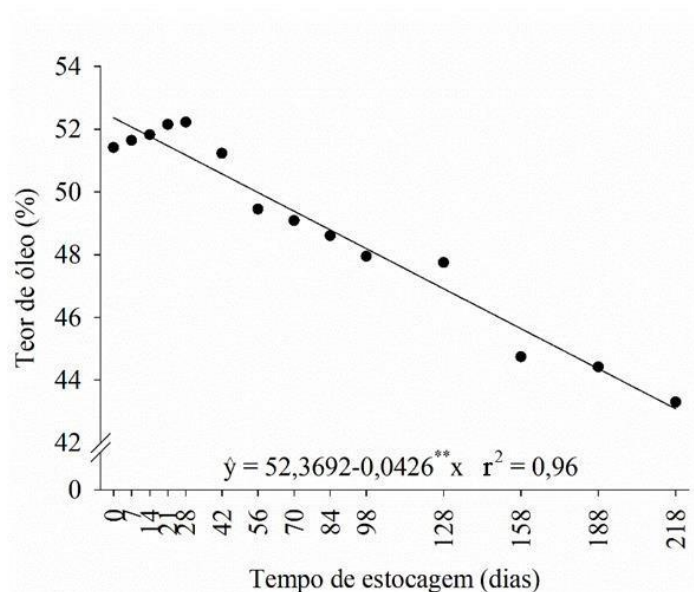


Figura 17: Teor de óleo em função do tempo de armazenamento. Fatores com ** são significativos a 1% de probabilidade e fatores seguidos de * foram significativos a 5% de probabilidade de acordo com a Análise de Variância.

Esses resultados corroboram as descobertas de Evaristo (2015), que também notou uma diminuição no teor de óleo em frutos de macaúba após 40 dias de armazenamento em condições ambientais. Martins (2013) destacou a ausência de acúmulo de óleo em frutos de macaúba após secagem por quatro e oito dias em estufa a 65°C. Tanto Queiroz & Andrade (2016) quanto Martins (2013) observaram uma baixa acumulação de óleo após a secagem em estufa a 60°C e a 45°C, respectivamente. Esse fenômeno pode ser explicado pela redução da umidade, que diminui o metabolismo do fruto, resultando na redução ou até na interrupção das reações metabólicas responsáveis pelo acúmulo de óleo (GONÇALVES, 2018; QUEIROZ & ANDRADE, 2016).

Dentre as possibilidades para a explicação da diminuição do teor de óleo podemos citar a possibilidade de uma transferência do óleo da polpa para a casca ou até mesmo o consumo dos lipídeos pelo metabolismo microbiano, visto que, com o passar do tempo, a contaminação microbiológica tende a aumentar.

4.4 CONCLUSÃO

Foi possível constatar que a secagem a baixa temperatura tem efeitos positivos para o índice de acidez, mantendo o óleo viável por até seis meses.

O mesmo efeito não foi constatado para a estabilidade oxidativa, que se manteve, de acordo, com os parâmetros mínimos estabelecidos pela ANP por somente 17 dias após a colheita.

O teor de óleo não foi afetado pelo tempo de secagem e foi afetado negativamente pelo tempo de armazenamento, ou seja, quanto maior o tempo de armazenamento, menor o teor de óleo.

A secagem a baixa temperatura e o armazenamento sob as mesmas condições são recomendados como tratamento pós-colheita para frutos de macaúba.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AOCS. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. Champaign: 1994.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. UFV, 2. ed., 2004, 416p.

Brasil. (2005). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0270_22_09_2005.html. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

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

CABRERA, O. G.; GRIMALDI, L. M.; GRIMALDI, R.; RIBEIRO, A. P. B. Macauba (*Acrocomia aculeata*): Biology, Oil Processing, and Technological Potential [Internet]. Oilseed Crops - Uses, Biology and Production. IntechOpen; 2023. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.105540>

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). Dissertação (Mestrado em

Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco – UCDB – Campus Campo Grande, MT, 2012.

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. 1156-1161, 2011.

COŞKUN, A; ÖZBÜK, R. M. Y. What influences consumer food waste behavior in restaurants? An application of the extended theory of planned behavior. *Waste Management*, v. 117, p. 170-178, 2020

ELIAS, M. C. **Pós-Colheita de arroz: Secagem, Armazenamento e Qualidade**. Pelotas: Ed. UFPEL, 2007. 422p.

EVARISTO, A. B.; GOULART, S. M.; MARTINS, A. D.; PIMENTEL, L. D.; GROSSI, J. A. S. Caracterização físico-química de frutos de macaúba provenientes de três regiões do estado de Minas Gerais. **Agrotecnologia**, v. 8, n. 2, p. 81-92, 2017.

EVARISTO, A. B. Conservação pós-colheita e potencial bioenergético de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*). (2015). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG,

FAVARO, S. P.; TAPETI, C. F.; MIRANDA, C. H. B.; CICONINI, 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: e-1603373, 2017.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *Global Food Losses And Waste*. 2011. Disponível em: . Acesso em 13 de outubro de 2023.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The future of food and agriculture*. 2017. Disponível em: < <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>>. Acesso em 13 de outubro de 2023.

FRANCO, W. C. G. **Frequência de queda e avaliação do uso de coletor na conservação pós-colheita de frutos de macaúba**. (2019). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa - UFV - Campus Viçosa, MG, 2019.

GONÇALVES, M. G. **Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar**. (2018). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

GOULART, S. M. **Colheita e pós-colheita de macaúba: Qualidade do óleo da polpa para alimentação humana e aproveitamento da torta na alimentação animal**. (2018). Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2018.

JÚNIOR, A. de S. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. 101 f. 2009. - Universidade Federal de Lavras, [s. l.], 2009.

LUDWIG-OHM, S.; DIRKSMEYER, W.; KLOCKGETHER, K. Approaches to reduce food losses in German fruit and vegetable production. *Sustainability*, v. 11, n. 23, p. 6576, 2019.

MARTINS, A. D. **Radiação Gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de Macaúba**. (2013). Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Departamento de Agronomia - Universidade Federal de Viçosa – UFV - Campus Viçosa. MG, 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.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. (2006). **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri, SP: Manole.

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

QUEIROZ, L. A. B.; ANDRADE, M. H. C. Characteristics of pulp and oil from Macauba (*Acrocomia Aculeata*) after different post-harvest treatments and storage. **International Journal os Environmental & Agriculture Research**, v. 2, n. 3, p. 46-53. 2016.

Ratledge C, Wynn JP. The biochemistry and molecular biology of lipid accumulation in oleaginous microorganisms. *Advances in Applied Microbiology*. 2002;51:1-52. DOI: 10.1016/S0065-2164(02)51000-5

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; BOTELHO, F. M.; RODRIGUES, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

Sarmah N, Revathi D, Sheelu G, et al. Recent advances on sources and industrial applications of lipases. *Biotechnology Progress*. 2018;34(1):5-28. DOI: 10.1002/btpr.2581

SILVA, G. N.; GROSSI, J. A. S.; CARVALHO, M. S.; KUKI, K. N.; GOULART, S. M.; OIMENTEL, L. D. Air drying of macauba fruits: maintaining oil quality for biodiesel production. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 42, e43451, 2020.

SILVA, B. R. Qualidade do óleo da polpa de macaúba após tratamento pós-colheita. (2019). Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) – Departamento de Engenharia de Energia – Universidade de Brasília – UnB – Campus Brasília, DF, 2019.

SILVA, G. N. Uso da secagem e ozonização na conservação pós-colheita de frutos de macaúba. 2017. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV – Campus Viçosa, MG, 2017.

SILVA, L. M. Determinação da estabilidade de óleos e de compostos com atividade anti-aterosclerótica do azeite durante o processamento de alimentos. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, novembro, 2008.

SOUZA, W. B. D.; MATOSKI, A. CARACTERIZAÇÃO DE FUNGOS EM ALVENARIAS - ESTUDO DE CASO EM HOSPITAL. ENCAC, Balneario camboriu, p. 1995-2003, 2

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.

TILAHUM, W. W.; GROSSI, J. A. S.; FAVARO, S. P.; SEDIYAMA, C. S.; GOULART, S. M.; PIMENTEL, L. D.; MOTOIKE, S. Y. Increase in oil content and changes in quality of macauba mesocarp oil along storage. **OCL**, v. 26, n. 20, p. 1-8. 2019.

UN. United Nations. Resolution Adopted by the General Assembly. 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Disponível em: Acesso em 13 de outubro de 2023.

5. CONCLUSÃO GERAL

Com base nos experimentos realizados neste estudo foi possível comprovar a hipótese de que frutos armazenados com maior percentual de umidade apresentam maior velocidade de degradação, como evidenciado no capítulo 1 e 2.

A secagem a 50°C não foi eficiente em manter a qualidade do óleo dentro dos padrões estabelecidos pela ANVISA por longos períodos de tempo, mas foi capaz de diminuir drasticamente a velocidade de deterioração do óleo, principalmente em relação ao índice de acidez.

A secagem a baixa temperatura se mostrou promissora para a conservação de frutos de macaúba, mas ainda existem fatores que precisam ser estudados mais profundamente como a concentração de gases do ambiente de armazenamento.

Nenhuma das tecnologias empregadas foi capaz de manter a estabilidade oxidativa dentro dos limites estabelecidos pela ANIVSA por longos períodos de tempo.

O ambiente simulado pelo silo secador-armazenador foi capaz de manter a acidez abaixo de 5% por seis meses, resultado ainda não encontrado por nenhum estudo.

A secagem a baixa temperatura permitiu o acúmulo de óleo por períodos superiores (92 dias) quando comparados àqueles frutos secos com altas temperaturas.

O processo pós-colheita mais indicado é: colheita dos frutos diretamente na planta, tratamento de sanitização no mesmo dia da colheita com hipoclorito de sódio, secagem e armazenamento nas mesmas condições de temperatura e umidade. Este protocolo permitiu que o índice de acidez se mantivesse abaixo de 5% por até seis meses.