

MELINA GUIMARÃES GONÇALVES

**SECAGEM DE FRUTOS DE MACAÚBA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA
DO AR**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

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

T

G635s
2018

Gonçalves, Melina Guimarães, 1992-
Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar / Melina Guimarães Gonçalves. – Viçosa, MG, 2018.
vi, 21f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Evandro de Castro Melo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Acrocomia aculeata*. 2. Macaúba - Fisiologia pós-colheita. 3. Macaúba - Secagem. 4. Biodiesel. 5. Óleos vegetais como combustível. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

MELINA GUIMARÃES GONÇALVES


**SECAGEM DE FRUTOS DE MACAÚBA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA
DO AR**


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

APROVADA: 19 de fevereiro de 2018.


José Antônio Saraiva Grossi


Luís César da Silva


Leonardo Duarte Pimentel
(Coorientador)


Evandro de Castro Melo
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e pelas vitórias alcançadas.

Aos meus pais Marcelo e Jacqueline, minhas maiores referências. Obrigada por toda confiança, conselhos, cuidado e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Macel e Vitor, exemplos de sabedoria e determinação.

Ao meu sobrinho, Marcelo Judah pela alegria contagiante.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Professor Evandro de Castro Melo, pelas orientações, ensinamentos, confiança, paciência e dedicação.

Ao Professor Leonardo Duarte Pimentel, pela coorientação e ensinamentos durante minha trajetória na UFV.

Ao Professor Antônio Policarpo Souza Carneiro pela coorientação e ensinamentos com a estatística.

Ao meu noivo João Victor, pelo incentivo, paciência e por sempre se fazer presente.

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisa de Secagem de Plantas Mediciniais, pela amizade e incentivo. Sem a ajuda e o apoio deles eu não teria conseguido.

Ao Samuel Goulart pela ajuda na execução do experimento.

A todas as pessoas que generosamente doaram seu tempo e ofertaram incentivos à produção deste trabalho, agradeço com emoção e sinceridade.

ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
ARTIGO	1
Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar	1
Resumo	1
INTRODUÇÃO	2
MATERIAL E MÉTODOS	3
Determinação do teor inicial e final de água das amostras	4
Índice de acidez	6
Estabilidade oxidativa	7
Teor de óleo	7
Análises Estatísticas	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
Secagem dos frutos	9
Análises Estatísticas	12
Índice de Acidez	13
Estabilidade Oxidativa	14
Teor de Óleo	16
CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

RESUMO

GONÇALVES, Melina Guimarães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar.** Orientador: Evandro de Castro Melo. Coorientadores: Leonardo Duarte Pimentel e Antônio Policarpo Souza Carneiro.

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) destaca-se dentre as espécies oleaginosas como matéria-prima para o mercado de biodiesel. Entretanto, há alguns gargalos na pós colheita que precisam ser solucionados a fim de viabilizar essa cadeia produtiva. Nesta etapa, as usinas processadoras deixam os frutos expostos ao ambiente para que ocorra a perda de água nos frutos e viabilize o processo de prensagem e obtenção do óleo. Todavia, esse processo acarreta uma possível degradação dos frutos, o que diminui a qualidade do óleo extraído. Diante disso, objetivou-se com este trabalho avaliar temperaturas do ar de secagem de frutos de macaúba que permitissem realizar a secagem de maneira que a qualidade do óleo do mesocarpo atingisse os padrões exigidos para produção de biodiesel. Foram colhidos frutos de macaúba na fazenda Experimental de Araponga-MG e, posteriormente, os mesmos foram levados para o Setor de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde ficaram armazenados por um período de sete dias. Em seguida, realizou-se quatro ensaios em função da temperatura do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), mantendo-se velocidade do ar de secagem constante em 1 m.s⁻¹, até que o teor final de água atingisse em 0,11 b.s. Posteriormente, foram realizadas as análises laboratoriais avaliando-se os parâmetros quanto ao teor de óleo, índice de acidez e estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. Os ensaios com melhores tempos de secagem foram os de 60 e 70°C, apresentando 81,0 e 63,0 horas, respectivamente. Já os ensaios de 40 e 50 °C apresentaram maiores tempos de secagem, levando 121,0 e 132,0 horas, respectivamente. No entanto, em relação a estabilidade oxidativa, apenas os ensaios com 40 e 50°C apresentaram valores satisfatórios, sendo 56,6 °C a temperatura máxima para que o período de indução seja acima de 06 horas. A elevação da temperatura proporcionou o aumento do índice de acidez para todos os ensaios, porém todos mantiveram abaixo do limite de 0,5 mg KOH g⁻¹ estabelecido para o biodiesel no Brasil. Por outro lado, o parâmetro de teor de óleo não foi influenciado pela temperatura do ar de secagem, e sim pelo teor de óleo inicial das amostras uma vez que, após colhidas, ficaram sete dias armazenados a fim de acumular óleo no mesocarpo.

Conclui-se que, as temperaturas do ar de secagem a 40 e 50 °C são adequadas para secagem da macaúba. Contudo, a temperatura recomendada deve ser de no máximo 56,6°C.

ABSTRACT

GONÇALVES, Melina Guimarães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. **Drying of macaúba fruits in the function of air temperature.** Adviser: Evandro de Castro Melo. Co-advisers: Leonardo Duarte Pimentel and Antônio Policarpo Souza Carneiro.

The macaúba (*Acrocomia aculeata*) stands out among the oilseeds as a raw material for the biodiesel market. However, there are some post-harvest barriers that need to be solved in order to strengthen their supply chain. At this stage, the processing plants leave the fruits exposed to the environment for water loss occurring in fruits and makes possible the process of pressing and getting the oil. However, this process leads to a possible degradation of the fruits leading to a poor quality of the extracted oil. The objective of this study was to evaluate the drying air temperatures of macaw palm fruits that allow drying to be carried out in such a way that the quality of the mesocarp oil is within the standards required for biodiesel production. Macaw palm were harvested at the Experimental farm of Araçuaia-MG and later they were taken to the Storage Sector of the Department of Agricultural Engineering of UFV where they were stored for a period of seven days. Thereafter, four drying tests were performed in function of the drying air temperature (40, 50, 60 and 70 °C), keeping air velocity constant at 1 m.s⁻¹, until the final water content reached 0.11 b.s. Subsequently, the laboratory analyzes were performed evaluating the parameters as regards the oil content, acidity index and oxidative stability of the macaw palm. The treatments with better drying times were those of 60 and 70 °C, presenting 81.0 and 63.0 hours, respectively. The treatments of 40 and 50 °C showed higher drying times, lasting 121.0 and 132.0 hours, respectively. However, with respect to oxidative stability, only the treatments with 40 and 50°C presented satisfactory values, being 56,6 °C the maximum temperature for the induction period to be above 6 hours. The elevation of the temperature provided the increase in the acidity index for all the treatments, but all remained below the limit of 0.5 mg KOH g⁻¹ established for biodiesel in Brazil. On the other hand, the parameter of oil content was not influenced by the temperature of the drying air, but by the initial oil content of the samples once, after being harvested seven days were stored in order to accumulate oil in the mesocarp. It was concluded that the drying air temperatures of 40 and 50 °C are suitable for drying the macaw palm however, the recommended temperature must be of maximum 56.6°C.

ARTIGO

Artigo nas normas da Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental- Agriambi.
ISSN Impresso: 1415- 4366
ISSN Online: 1807- 1929

Secagem de frutos de macaúba em função da temperatura do ar

Melina Guimarães Gonçalves¹; Diego Augusto Gonzaga¹; Samuel de Melo Goulart²;
Leonardo Duarte Pimentel²; Antônio Policarpo Souza Carneiro³, Evandro de Castro
Melo¹.

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Brasil.

²Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Brasil.

³Departamento de Estatística, Universidade Federal de Viçosa/UFV, Brasil.

Resumo: Frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresentam elevado teor de água no momento de colheita, podendo degradar-se rapidamente durante o armazenamento. A secagem é o método mais promissor para mitigar esse efeito, porém, não se sabe qual a temperatura ideal para manter a qualidade do óleo. Objetivou-se com este trabalho avaliar temperaturas do ar para secagem de frutos de macaúba que permitissem preservação da qualidade do óleo do mesocarpo segundo padrões exigidos para produção de biodiesel. Foram avaliados quatro ensaios de secagem em função da temperatura do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), mantendo-se velocidade do ar constante em 1 m.s⁻¹. Em seguida, foram realizadas as análises laboratoriais avaliando os parâmetros quanto ao teor de óleo, índice de acidez e estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. Os ensaios com temperaturas do ar de secagem de 40 e 50 °C, apresentaram resultados satisfatórios para índice de acidez e estabilidade oxidativa, sendo 56,6 °C a temperatura máxima para que o período de indução seja superior a 06 horas. Por outro lado, a secagem não influenciou o teor de óleo no mesocarpo.

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

Drying of macaw palm fruits in function of air temperature

Abstract: Fruits of macaúba (*Acrocomia aculeata*) present high water content at the time of harvesting, and can degrade rapidly during storage. Drying is the most promising method to mitigate this effect, however, it is not known what the ideal temperature is to maintain oil quality. The objective of this study was to evaluate the drying air temperatures of macaw palm fruits that allow drying to be carried out in such a way that the quality of the mesocarp oil is within the standards required for biodiesel production. Four drying tests were evaluated as function of the drying air temperature (40, 50, 60 and 70 °C), keeping air velocity constant at 1 m.s⁻¹. Then laboratory tests were performed evaluating the parameters regarding the oil content, acidity index and oxidative stability of the mesocarp oil. The treatments with drying air temperatures of 40 and 50 °C, presented satisfactory results for acidity index and oxidative stability, being 56.6 °C the maximum temperature for the induction period to be more than 6 hours. On the other hand, drying did not influence the oil content in the mesocarp.

Key words: *Acrocomia aculeata*, biodiesel, oil, post-harvest

INTRODUÇÃO

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] tem sido indicada como fonte de matéria-prima para o biodiesel, já que não é tradicionalmente utilizada como alimento. Essa espécie oleaginosa possui alto potencial para produção de óleo por hectare (5 t ha⁻¹) e o óleo obtido da polpa dos frutos apresenta elevada qualidade para produção do biodiesel devido às suas características: alta concentração de ácido graxo oleico, baixa acidez e boa estabilidade à oxidação (Hiane et al., 2005; Coimbra & Jorge, 2011).

Um dos grandes entraves na cadeia produtiva da macaúba ocorre nos processos de pós-colheita, em que os frutos expostos a condições ambiente para secagem têm sua qualidade reduzida devido à possibilidade de degradação dos mesmos, comprometendo a viabilidade do óleo.

Silva et al (2017), verificaram que, quando os frutos de macaúba são secos a 60 °C, ocorre melhor controle da acidificação do óleo do mesocarpo armazenado por até 90 dias. Entretanto, a secagem prejudica a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. No entanto, Carvalho (2013) afirma que óleos extraídos do mesocarpo de macaúba submetidos a temperaturas do ar de secagem a 60, 70 e 80 °C apresentaram índices de acidez acima do permitido por legislação, 0,5 mg KOH g⁻¹. Logo, não se sabe quais são as melhores condições do ar de secagem que possibilitem agilidade no processo produtivo combinado à qualidade do óleo. Vale ressaltar que esses parâmetros são relevantes para o dimensionamento das unidades de processamento de óleo e, conseqüentemente, para viabilizar o uso do óleo de macaúba nas usinas de biodiesel.

Objetivou-se com este trabalho avaliar temperaturas do ar de secagem de frutos de macaúba que permitissem realizar a secagem para obter o óleo do mesocarpo com qualidade dentro dos padrões exigidos para produção de biodiesel.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados quatro ensaios de secagem em função da temperatura do ar de secagem (40, 50, 60 e 70 °C), mantendo-se velocidade do ar constante em 1 m s⁻¹. Os frutos de macaúba utilizados neste experimento foram coletados na fazenda Experimental de Araponga-MG, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), situada a 20° 40' 14" de latitude sul, 42° 30' 47" de longitude oeste e a 1040 m de altitude. O clima da região segundo a classificação de Köppen-Geiger é subtropical úmido (Cwa).

Material experimental

Os frutos de macaúba utilizados foram colhidos em quatro períodos entre janeiro e março de 2017. Os cachos da planta foram cortados com o auxílio de uma foice acoplada com garra para evitar danos mecânicos nos frutos com a queda direta no chão, além de um sistema de proteção com pano de colheita para evitar contato do cacho com o solo (Figura 1A). Os frutos foram imediatamente transportados ao Setor de Armazenamento do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, onde foram selecionados, retirando-se os frutos quebrados e/ou com contaminação visível por microrganismos.

Antes da realização dos ensaios de secagem, os frutos colhidos em cada período ficaram armazenados por um período de sete dias em temperatura ambiente para acúmulo natural de óleo, uma vez que os frutos de macaúba são climatéricos e com isso há conversão de reservas após a colheita (Goulart, 2014). Posteriormente, procedeu-se aos ensaios de secagem, sendo a ordem dos mesmos definida de forma aleatória.

Determinação do teor inicial e final de água das amostras

As determinações do teor inicial e final de água foram realizadas para cada ensaio de secagem com amostras de seis frutos de macaúba. Utilizou-se o método gravimétrico em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 105 ± 2 °C, até atingir a massa constante. Testes preliminares indicaram que esse ponto acontecia com 72h.

Ensaio de secagem

Os frutos foram submetidos ao processo de secagem em leito fixo em secador de camada fixa com três bandejas. A secagem foi realizada em camada espessa, com aproximadamente 10 cm de altura, totalizando cerca de 10 kg de frutos bandeja⁻¹, sendo cada bandeja uma repetição.

O secador utilizado era construído em chapas de aço galvanizado com as seguintes dimensões: 0,85 x 0,85 x 0,6 m e possuía três gavetas horizontais com 0,25 x 0,54 x 0,16 m cada (Figura 1B).



Figura 1- (A) Colheita dos Cachos de Macaúba; (B)- Secador de camada fixa com bandejas

Para a admissão do ar ambiente foi instalado um ventilador axial de pás retas com motor de potência igual a 2,2 cv. No duto de medição de velocidade estava instalado o sensor-transmissor de velocidade. O transdutor de velocidade era um anemômetro de fio quente, FMA - 900 Ômega. No duto de aquecimento, encontrava-se instalado um conjunto de três resistências elétricas, para aquecimento do ar de secagem, com potência de 5 kW cada, e no plenum, um transdutor de temperatura.

Durante o processo de secagem, foram realizadas pesagens regulares a cada três horas em uma balança com resolução de 0,005 kg até que o produto atingisse o teor final de água. Em seguida, foram selecionados quarenta frutos ao acaso, embalados em papel kraft e identificados para serem acondicionados em um refrigerador à temperatura de -15 °C, até o momento das análises laboratoriais.

Para medição da temperatura e umidade relativa do ar ambiente foi empregado um termo-higrômetro digital e, a umidade relativa do ar de secagem, foi calculada por meio do programa GRAPSI® (Melo et al., 2004).

O teor inicial de água foi previamente calculado pelo método gravimétrico e o teor final de água foi fixado em 0,11 b.s. O momento de finalizar o processo de secagem, foi calculado matematicamente, obtendo-se a massa final desejada através da Eq. 1.

$$mf = mi \cdot \frac{1-Xi}{1-Xf} \quad (1)$$

Em que:

mf: massa final dos frutos (g);

mi: massa inicial dos frutos (g);

Xi: teor inicial de água (b. s.);

Xf: teor final de água (b. s.).

Extração do óleo

A quebra do epicarpo dos frutos foi feito com auxílio de uma morsa. Em seguida, os frutos foram despolidos manualmente com o auxílio de facas. Logo após, o mesocarpo foi seco em estufa por 16 h a 65 °C com o objetivo de retirar o excesso de água, possibilitando o processo de prensagem e extração mecânica do óleo. Para a prensagem, utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade de 30 tf (2,94 x 10⁵ N). Posteriormente, o óleo foi acondicionado em frascos âmbar e armazenado até o momento das análises em freezer a -20 °C para evitar a degradação por ação da luz e temperatura.

Índice de acidez

A determinação índice de acidez, foi realizada utilizando o método Ca 5a – 40 proposto pela American Oil Chemists' Society (Firestone, 2009). Foram pesados 2,00 ± 0,10 g das amostras de óleo em erlenmeyers de 125,0 mL, adicionando-se, em seguida, 25,0 mL da

solução neutra de éter etílico-álcool na proporção de 2:1 e cinco gotas de indicador fenolftaleína 0,5%. A titulação foi realizada com solução padronizada de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e o índice de acidez calculado por meio da Eq. 2.

$$I.A = \frac{v \cdot f \cdot M \cdot 28,2}{P} \quad (2)$$

em que,

IA: Índice de acidez em mg NaOH.g⁻¹, porcentagem de ácido oleico;

v: Volume da solução padronizada de NaOH 0,1 mol.L⁻¹ gasto na titulação da amostra , mL;

f: Fator de correção da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L⁻¹, encontrado com a padronização, adimensional;

M: Molaridade da solução de NaOH utilizada; e

P: Massa da amostra, g.

Estabilidade oxidativa

A análise da estabilidade oxidativa foi feita segundo a metodologia proposta pela *American oil chemists' society* (Firestone, 2009), utilizando-se o equipamento 873 *Biodiesel Rancimat*TM (Methrom, Suíça). Foram adicionados 2,50 ± 0,01 g de óleo do mesocarpo de frutos de macaúba em um tubo de ensaio. Em seguida, os tubos foram acoplados ao Rancimat. A temperatura de trabalho foi de 110 °C, com velocidade de fluxo de ar de 10,0 L h⁻¹. A perda da estabilidade oxidativa foi dada pelo período de indução, expresso em h.

Teor de óleo

A quantidade de material graxo presente na matéria seca do mesocarpo, expressa em porcentagem, representa o teor de óleo (TO). Para determinação do teor de óleo foi

utilizada a metodologia 032/IV adaptada (Zenebon, 2008). As amostras foram secas em estufa com circulação e renovação de ar a 65 °C por 24 h, para retirada do excesso de umidade.

Após esse período, as amostras foram trituradas e levadas novamente à estufa a 65 °C por mais 24 h, a fim de remover a água remanescente. As amostras secas foram colocadas em cartucho de papel filtro e o óleo foi extraído pelo extrator de óleos e graxas do tipo Soxhlet (Marconi 044/8/50, Brasil), por meio do solvente orgânico n-hexano. Durante o processo de extração, as amostras permaneceram mergulhadas no solvente por 2 h a 80 °C. Após este período, realizou-se a lavagem das amostras com o n-hexano acumulado no condensador do extrator, em temperatura de 110 °C, processo este, repetido por seis vezes.

Finalizando a extração, os cartuchos foram levados para a estufa, com circulação e renovação de ar, a 65 °C por 24 h, a fim de evaporar o excesso de n-hexano da amostra. Em seguida, procedeu-se a pesagem dos cartuchos contendo amostra em balança analítica. O teor de óleo foi calculado pela Eq. 3:

$$TO = \frac{P1-P2}{P1-P} \cdot 100 \quad (3)$$

em que,

TO: Teor de óleo, em porcentagem;

P: Massa do cartucho, g;

P1: Massa do cartucho + amostra seca antes da extração do óleo, g;

P2: Massa do cartucho + amostra após a extração do óleo, g.

Análises Estatísticas

Na organização do experimento foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, em que cada bandeja do secador correspondeu a uma repetição. A partir dos dados obtidos foram realizadas análises de correlação e de regressão linear, utilizando o programa SAS, versão 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, EUA, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Secagem dos frutos

Para todos os ensaios houve perda de água durante período de sete dias para maturação dos frutos (Tabela 1). Os frutos do ensaio a 40 °C apresentaram menor teor de água inicial em comparação aos outros ensaios, o que provavelmente ocorreu devido ao grau de maturação mais avançado, resultando em menor conteúdo de água nos frutos no momento da colheita. Essa perda de água é natural durante a maturação do fruto ainda na planta e também em pós-colheita (Montoya et al., 2016).

O tempo de secagem dos frutos até o teor de água final a 0,11 b.s. foi de 121,0; 132,0; 81,0 e 63,0 horas, para os ensaios com o ar de secagem a 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente (Figura 2), indicando que o teor de água inicial influenciou positivamente o tempo de secagem. O tempo de secagem do ensaio a 40 °C foi menor que o do ensaio a 50 °C, porque o teor inicial de água da amostra (0,44 b.s.) foi menor do que o outro ensaio (0,67 b.s.), mantendo-se a relação positiva entre os dois parâmetros.

Tabela 1. Médias seguidas do valor de desvio-padrão para parâmetros avaliados em cada temperatura do ar de secagem nos frutos de macaúba.

Temperatura ambiente(°C)	UR Ambiente (%)	Temperatura do ar de secagem (°C)	UR ar de secagem (%)	Xi (b.s)	X+7 (b.s)	Xf (b.s)
28,00±3,15	61,35±10,90	40±3	30,88±1,99	0,61±0	0,44±0	0,11±0,37
29,22±3,28	56,05±10,23	50±3	18,21±1,13	0,87±0	0,67±0	0,11±0,30
30,67±4,48	49,35±12,83	60±3	10,57±0,66	0,78±0	0,66±0	0,10±0,52
25,97±3,99	53,68±9,58	70±3	5,68±0,42	0,81±0	0,76±0	0,11±0,24

Xi – teor inicial de água; X+7 – teor de água após 7 dias de maturação natural em pós-colheita Xf – teor final de água da amostra após secagem; UR – Umidade Relativa

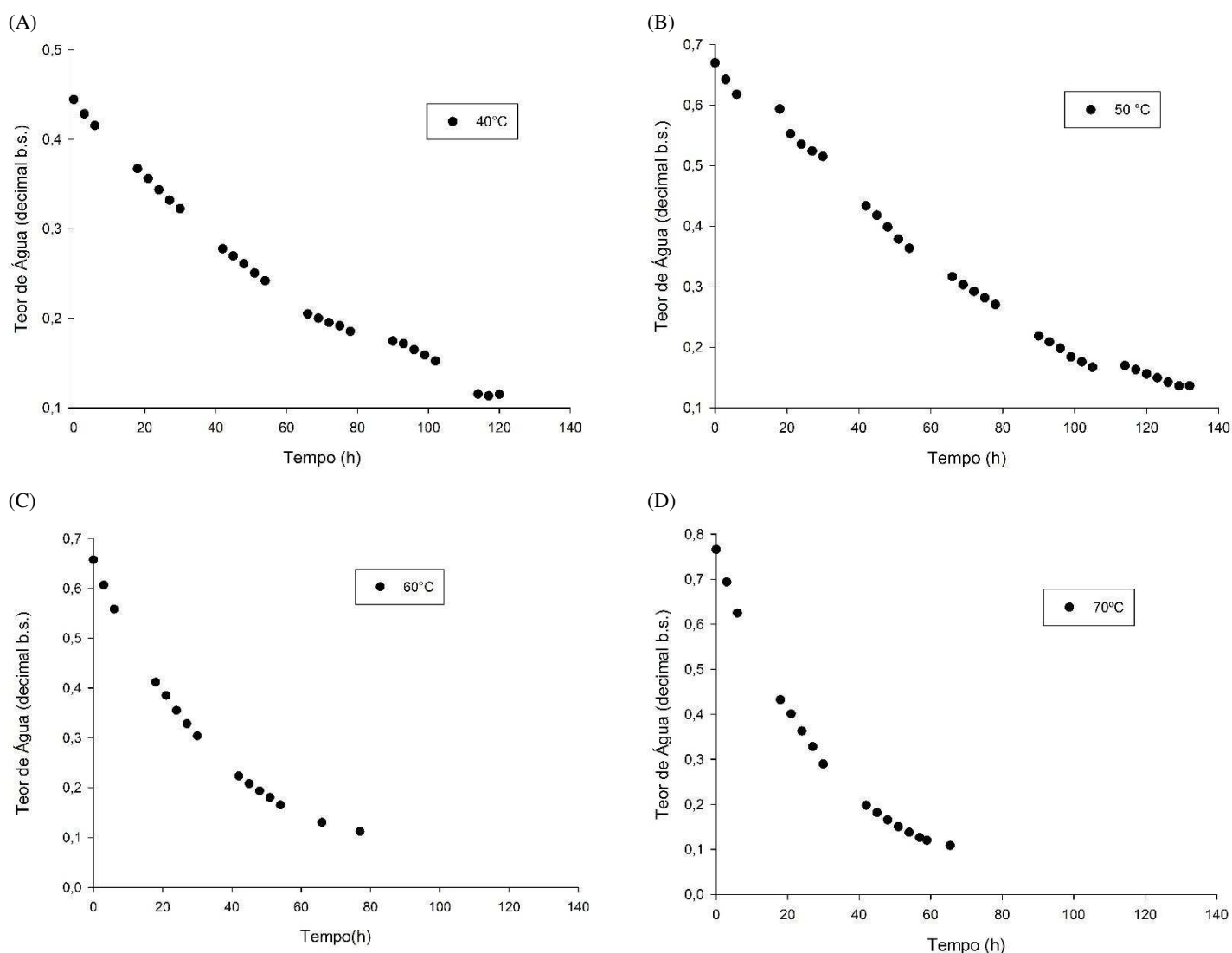


Figura 2: Média do teor de água de frutos de macaúba submetidos a temperaturas do ar de secagem de 40°C (A), 50°C (B), 60°C (C) e 70 °C (D) em função do tempo de secagem.

A diferença de intervalos de tempos nos gráficos da figura 2 é explicada pelo método de coleta de dados, ou seja, o horário em que as medições foram realizadas: durante a madrugada em intervalos de 12h e, durante o dia, de 3h.

Identificaram-se dois estágios de secagem em todos os ensaios (Figura 3). No primeiro estágio, ocorreu uma rápida redução no teor de água dos frutos; no segundo, a redução aconteceu de forma mais lenta. Resultados análogos foram relatados por Delgado et al., (2014), em que constataram que no processo de secagem de frutos de *Castanea sativa* houve uma rápida remoção de água no início do processo, sendo que, à medida que a secagem prosseguia, a velocidade de secagem diminuía.

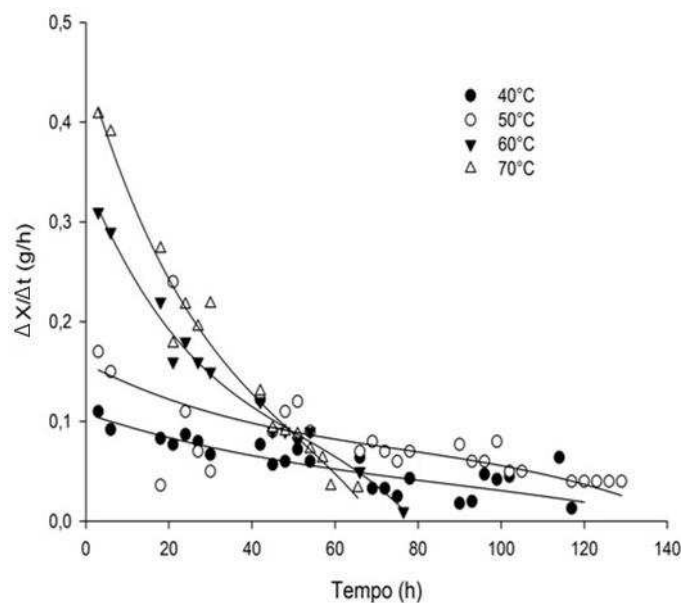


Figura 3- Variação da massa dos frutos pela variação do tempo de secagem para as temperaturas do ar de secagem à 40, 50, 60 e 70 °C.

O aumento da temperatura do ar de secagem promove maior taxa de remoção da água do produto, fazendo com que a inclinação da curva seja maior, fato observado por outros pesquisadores para vários produtos agrícolas (Goneli et al., 2009; Corrêa et al., 2007; Coradi et al., 2016). Segundo Siqueira et al., (2013), a maior taxa de remoção da água é

em razão de uma maior diferença de pressão de vapor do ar de secagem, contribuindo, assim, para a aceleração do processo de secagem.

Em todos os ensaios, a taxa de secagem foi decrescente. Esse fato ocorreu devido a uma maior resistência à transferência de calor e massa do interior do produto para sua superfície (Kashaninejad et al., 2007).

Análises Estatísticas

Na tabela 2 estão apresentados as médias e os desvios-padrões para IA, EO e TO dos ensaios com e respectivas testemunhas.

Tabela 2: Médias e desvios-padrões do índice de acidez (IA), estabilidade oxidativa (EO), teor de óleo do mesocarpo (TO) e respectivas testemunhas para os diferentes ensaios.

Ensaio	IA (%)		EO (h)		TO	
	Testemunha	IA (%)	Testemunha	EO (h)	Testemunha	TO
40±3 °C	0,56	0,45±0,09	12,54	15,35±0,27	54,4	50,36±1,57
50±3 °C	0,68	0,59±0,21	12,31	10,36±1,97	55,93	56,51±6,56
60±3 °C	0,83	0,69±0,20	11,94	0,05±0,02	45,23	57,51±8,62
70±3 °C	0,55	0,69±0,14	10,98	0,17±0,25	57,97	56,56±4,86

A partir desses dados obtiveram-se os resultados da análise de correlação, mostrando as correlações estimadas e aquelas que foram significativas entre as variáveis analisadas (tabela 3).

Tabela 3: Estimativas dos coeficientes de correlação entre as variáveis (P-valor) e número de amostras utilizadas (* p<0,01; ** p<0,10)

	Temperatura	Teor de Óleo	Acidez	Estabilidade Oxidativa
Temperatura	-	0,3874 (0,2133) 12	0,5593 (0,0736)** 11	-0,9506 (<0,0001)* 10
Teor de Óleo		-	-0,0798 (0,8155) 11	-0,3387 (0,3383) 10
Acidez			-	-0,8060 (0,0087)* 9
Estabilidade Oxidativa				-

Índice de Acidez

A determinação da acidez é um dado importante para avaliar a qualidade do óleo de macaúba. Pode haver alteração na concentração dos íons hidrogênios por um processo de decomposição, ou seja, por hidrólise, oxidação ou fermentação (Mendonça et al., 2008).

O índice de acidez foi maior quando os frutos foram secos à temperaturas mais elevadas, entretanto, todos os ensaios e suas respectivas testemunhas apresentaram valores médios abaixo de 0,83% (Tabela 2).

Observa-se na tabela 3 uma correlação positiva de 0,5593 ($p < 0,10$) entre a temperatura do ar de secagem e índice de acidez e correlação positiva e alta de 0,8060 ($<0,01$) entre o índice de acidez e a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo. Ou seja, houve correlação significativa com tendência de variação no sentido contrário entre índice de acidez e estabilidade oxidativa nos diferentes ensaios de secagem.

Sabe-se que o limite de acidez para o biodiesel no Brasil é de 1,88%. Portanto, o emprego de temperaturas do ar de secagem a 40, 50, 60 e 70 °C mantiveram os índices

de acidez do óleo do mesocarpo em níveis satisfatórios para a sua utilização como matéria-prima para o biodiesel.

Martins (2013) e Carvalho (2013) também encontraram inibição no processo de acidificação do óleo do mesocarpo de frutos da macaúba após a secagem. O processo de secagem reduz a quantidade de água presente no fruto, causando a desnaturação de enzimas e, conseqüentemente, diminuindo a ação e desenvolvimento dos microrganismos (Azeredo 2004; Bastos & Oliveira 2008).

O maior índice de acidez está diretamente relacionado à maior quantidade de ácidos graxos livres no óleo, que são mais propensos à oxidação em relação aos ácidos graxos esterificados ao glicerol (Choe & Min 2006), reduzindo a estabilidade oxidativa.

É importante obter valores baixos de índice de acidez, uma vez que a elevada acidez indica acentuada presença de ácidos graxos livres, podendo comprometer o rendimento do combustível e causar danos ao motor (Fernando et al., 2007). Além disso, os custos de produção do biodiesel pela via mais utilizada (transesterificação alcalina) se elevam devido à adição de etapas ao processo (Alves et al., 2000).

Estabilidade Oxidativa

De acordo com especificações contidas no Regulamento Técnico nº 3/2014, parte integrante da Resolução ANP nº 45 de 25 de agosto de 2014, o período de indução mínimo à perda da estabilidade oxidativa deve ser de 6,0 h para o biodiesel (ANP, 2014). Considerando que, a estabilidade oxidativa é uma propriedade do biodiesel herdada do óleo de origem, seu período de indução deve ser maior ou igual a 6,0 h. A estabilidade oxidativa do óleo, usado como matéria-prima do biodiesel, é um parâmetro muito importante, pois, quando em níveis reduzidos, ocasiona a formação de depósitos, que geram o entupimento do sistema de injeção de combustível do motor (Lôbo et al., 2009).

Observa-se que a temperatura do ar apresenta correlação alta (-0,9506) e negativa com a estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo, ou seja, o aumento da temperatura do ar de secagem levou a diminuição na estabilidade oxidativa do óleo (Tabela 3). Houve efeito linear e negativo da temperatura na estabilidade oxidativa, com alto coeficiente de determinação (90,36%). De acordo com a equação de regressão ajustada, para o aumento de 1 °C na temperatura de secagem, estima-se que média da estabilidade oxidativa reduzirá em 0,54 horas (Figura 4).

Os ensaios com temperaturas do ar de secagem com 40 e 50 °C e todas as testemunhas de 40, 50, 60 e 70 °C, apresentaram resultados satisfatórios (15,35 h; 10,36; 12,54; 12,31; 10,34 e 10,98h respectivamente), considerados então adequados para utilização do óleo como matéria prima para a produção do biodiesel. Entretanto, nos ensaios com temperaturas do ar de secagem de 60 e 70 °C, o período de indução foi abaixo do permitido (0,05 e 0,17h, respectivamente) (Figura 4).

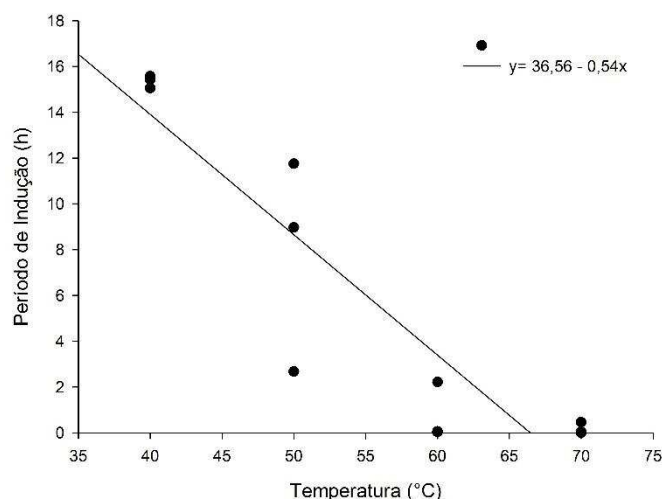


Figura 4: Efeito da temperatura do ar de secagem a 40, 50, 60 e 70 °C na estabilidade oxidativa (tempo de indução em h) do óleo do mesocarpo

A velocidade de oxidação dos lipídios aumenta quando se tem baixa quantidade de água. O processo de secagem causa a eliminação da água no produto, favorecendo a

formação de canais na matriz, que facilitam o contato físico do oxigênio atmosférico, que, junto à temperatura utilizada no processo, aumentam a velocidade de reações químicas de oxidação e hidrólise (Berset & Cuvelier, 1996; Araujo, 2004).

Martins (2013) realizou ensaios de secagem de macaúba em estufa, a 65 °C por quatro e oito dias, e obteve médias de estabilidade oxidativa menores que o tratamento presente a 45 °C, denotando o mesmo comportamento. Porém, Silva (2017) afirma que frutos de macaúba sem casca, submetidos ao processo de secagem a 60 °C e 5,6 m s⁻¹ de velocidade do ar de secagem, apresentaram estabilidade oxidativa do óleo do mesocarpo acima de 6h. Aparentemente são dados diferentes, porém o estudo atual se aproxima mais das condições de secagem em escala real, porque não utiliza estufa, e sim, um protótipo de secador em camada fixa. As diferenças entre os dois trabalhos, ressaltam dois fatores que merecem destaque para a devida avaliação de sua influência na cinética de secagem e na qualidade do produto: a presença da casca e a velocidade do ar de secagem.

A partir da equação de regressão, apresentada na figura 4, pode-se inferir que a temperatura máxima do ar de secagem para obter um período de indução acima de 06 h seria de 56,6 °C. Diante disso, pode-se concluir que, usando temperatura do ar de secagem acima desse valor, o óleo poderá apresentar uma estabilidade oxidativa fora dos parâmetros exigidos na sua utilização como matéria- prima na fabricação do biodiesel.

Teor de Óleo

Não houve correlação significativa entre temperatura do ar de secagem e teor de óleo no mesocarpo (Tabela 3). Esse resultado pode ser explicado devido ao fato de que a secagem reduz o teor de água do produto e, conseqüentemente, diminui a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento. Carvalho (2013) obteve resultados análogos a estes, em que os tratamentos de secagem a

60, 70 e 80°C não influenciaram significativamente o teor de óleo dos frutos de macaúba ao longo do armazenamento.

Porém, conforme Goulart (2014), o fruto de macaúba é climatérico, conseqüentemente, armazena óleo depois de colhido. Assim, o período de maturação dos frutos (sete dias), realizado antes do processo de secagem, foi suficiente para acumular óleo. Logo, o parâmetro de teor de óleo não foi influenciado pela temperatura do ar de secagem, e sim pelo teor de óleo inicial das amostras.

CONCLUSÕES

1. Maiores índices de acidez estão associados a maiores temperaturas do ar de secagem. Entretanto, todos os ensaios mantiveram a acidez dentro do índice máximo para utilização do óleo como matéria-prima do biodiesel.

2. O teor de óleo do mesocarpo da macaúba não sofreu influência da temperatura do ar de secagem.

3. A estabilidade oxidativa reduziu com o aumento da temperatura do ar de secagem. Para as temperaturas 40 e 50 °C a estabilidade oxidativa foi superior a 10 horas, sendo adequada para produção de biodiesel.

4. A temperatura recomendada para o ar de secagem deve ser de no máximo 56,6 °C.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir desse trabalho, têm-se as temperaturas recomendadas para a secagem da macaúba, visando o óleo do mesocarpo como fonte de matéria- prima para o biodiesel. No entanto, nota-se a necessidade de mais estudos nessa linha de pesquisa que analisem a viabilidade econômica da secagem e o dimensionamento de secadores que serão utilizados pelas usinas processadoras dos frutos. Essas questões são imprescindíveis para o aprimoramento da cadeia produtiva da macaúba e essenciais para estimular investimentos públicos e privados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, T. M. A.; Silva, A. F.; Brandão, M.; Grandi, T. S. M.; Smânia, E. F. A.; Júnior, A. S.; Zani, C. L. Biological Screening of Brazilian Medicinal Plants. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, v. 95, p. 367-373, 2000.
- ANP- Agência Nacional do Petróleo, 2014. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resoluções_anp/2014/agosto/ranp%2045%20-%202014.xml?f=templates&fn=document-frameset.htm. Acessado em 25 out 2017.
- Araujo, J. M. A. Química de Alimentos: Teoria e Prática. UFV, 2. Editora UFV, 2004, p. 416.
- Azeredo, H. D. Fundamentos de estabilidade de alimentos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004.
- Bastos, M. S.; Oliveira, V. Ferramentas da ciência e tecnologia para a segurança dos alimentos. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical: Banco do Nordeste, 2008.
- Berset, C.; Cuvelier, M.E. Sciences des Aliments 1996, v.16, p.219
- 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. Viçosa: UFV, 2013. 75p. Dissertação Mestrado.
- Carvalho, N.M. A secagem de sementes. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 165p.
- Choe E, Min DB. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. Comprehensive reviews in food science and food safety. v.5, p.169-186, 2006.
- Coimbra, M. C.; Jorge, N. Characterization of the Pulp and Kernel Oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. Journal of Food Science, v. 76, n. 8, p. C1156-C1161, 2011.

- Coradi, P. C., Milane, L. V., Andrade, M. G. O., Camilo, L. J., Souza, A. H. S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos/Drying closed corn grain dryer flow in a commercial mixed. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 10, n. 1, p. 14-26, 2016.
- Corrêa, P.C.; Resende, O.; Martinazzo, AP.; Goneli, A.L.D.; Botelho, F.M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.501-507, 2007.
- Delgado T, Pereira JA, Baptista P, Casal S e Ramalhosa E. Shell's influence on drying kinetics, color and volumetric shrinkage of *Castanea sativa* Mill. fruits. *Food Research International*, v.55, p.426-435, 2014.
- Fernando, S., Karra, P., Hernandez, R., Jha, K.S. Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality. *Energy*, v.32, p. 844-851, 2007.
- Firestone, D. Official methods and recommended practices of the AOCS. AOCS-American Oil Chemists Society 2009.
- Goneli A.L.D, Corrêa P.C, Afonso Júnior P.C, Oliveira G.H.H. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v.11, p.64-73, 2009.
- Goulart, S. D. M. (2014). Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel. Viçosa: UFV, 26p. Dissertação Mestrado.
- Hiane, P.; Ramos Filho, M.; Ramos, M.; Macedo, M. Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 3, p. 256-259, 2005.
- Kashaninejad M, Mortazavi A, Safekordi A, Tabil L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of food engineering*, v. 78, p. 98-108, 2007.

- Lôbo, I. P.; Ferreira, S. L. C.; Cruz, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, São Paulo, v. 32, n. 6, 2009.
- Martins, A. D. Uso da radiação gama e secagem para a conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba. Viçosa: UFV, 2013. 83p. Mestrado.
- Melo, E. C.; Lopes, D. C.; Corrêa, P. C. GRAPSI - Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. *Revista Engenharia na Agricultura*, Viçosa, MG, v.12, p.154-162,2004.
- Mendonça, M. A.; Borgo, L. A.; Araújo, W. M.C.; Novaes, M. R. C. G. Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no Distrito Federal. *Com Ciência Saúde*, Brasília, n. 19, p. 115- 122, 2008.
- Montoya, S. G., Motoike, S. Y., Kuki, K. N., Couto, A. D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. *Planta*. 2016.
- Schutz, F., Massuquetti, A., Alves, T. W. Demanda e oferta energética: uma perspectiva mundial e nacional para o etanol. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v.16, n.16, 3167-3186, 2013.
- Silva, G. N., Evaristo, A. B., Grossi, J.A. S., Campos, L. S., Carvalho, M. S., Pimentel, L. D. Drying of macaw palm fruits and its influence on oil quality. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 5, p. 3019-3030, 2017.
- Silva, G. N., Uso da secagem e ozonização na conservação pós-colheita de frutos de macaúba. Viçosa: UFV, 2017. 38p. Tese Doutorado.
- Siqueira V.C, Resende O., Chaves T.H. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p. 278-285, 2013.
- Zenebon, O., Pascuet, N.A., Tiglea, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. p. 104, 2008.