

AVALIAÇÃO DO PERFIL DO ÓLEO DA POLPA DE MACAÚBA PERANTE ENSAIOS TERMOXIDATIVOS

EVALUATION OF THE OIL PROFILE OF THE MACAUBA PULP UNDER THERMOXIDATIVE TESTS

Ana Teresa Rodrigues França¹; Natália Stevanato²; Isabela Julio Iwassa³; Camila da
Silva⁴

- 1 Graduada em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Maringá, 2018. Umuarama-PR. ana.teresafraanca03@gmail.com.
- 2 Mestre em Bioenergia. Universidade Estadual de Maringá, 2019. Graduada em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Maringá, 2016. Umuarama-PR, natalias.stevanato@gmail.com.
- 3 Mestre em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2018. Graduada em Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Maringá, 2015. Umuarama-PR, isa_iwassa@hotmail.com.
- 4 Doutora em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, 2009. Professora do Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, PR. camiladasilva.eq@gmail.com.

Recebido em 08/04/2019; Publicado em 23/06/2019

RESUMO: A polpa da macaúba (*Acromia aculeata*) representa 45% do fruto, e dela pode-se extrair um óleo rico em compostos ativos, como os carotenoides e flavonoides, que conferem ao óleo uma maior resistência à oxidação. Para que o óleo possa ser consumido e utilizado em diversos processos industriais é necessário conhecer o seu comportamento e estabilidade perante as condições de processamento. E com isso, o principal objetivo deste projeto é monitorar a qualidade do óleo da polpa de macaúba perante o aquecimento em condições controladas. Buscando tal propósito, o óleo foi obtido e caracterizado, analisando o teor de β -caroteno, flavonoides, ácidos graxos livres, cor e a absorvidade molar. Os ensaios termoxidativos foram realizados a 140, 160 e 180 °C e durante os ensaios amostras foram retiradas aos 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 140 min de aquecimento e a caracterização dos óleos foi realizada. Os tratamentos termoxidativos provocaram degradação dos compostos ativos, já que houve uma redução nos teores de flavonoides e β -caroteno de aproximadamente 72% e 88%, respectivamente. Entretanto, pequenas variações foram determinadas para os teores de ácidos graxos livres (AGL). A absorvidade molar dos óleos aumentou com a temperatura e tempo de exposição em até 1361% e 184% para os comprimentos de onda de 232 nm e 270 nm, respectivamente, o que indica a formação de compostos de degradação primários e secundários. As análises de cor dos óleos mostraram que houve perda de coloração após os testes termoxidativos, que pode ser resultado da degradação de β -caroteno. Os resultados obtidos para o efeito do tratamento térmico e do tempo podem contribuir para o desenvolvimento de processos industriais destinados a preservação da qualidade do produto.

PALAVRAS-CHAVE: *Acromia aculeata*. Óleo vegetal. Termodegradação.

ABSTRACT: The pulp of the macaúba (*Acromia aculeata*) represents 45% of the fruit, from which it is possible to extract an oil rich in active compounds, such as carotenoids and flavonoids, which give the oil a higher resistance to oxidation. In order for the oil to be consumed and used in various industrial processes, it is necessary to know its behavior and stability in relation to the processing conditions. And with that, the main objective of this project is to monitor the oil quality of the macaúba pulp before heating under controlled conditions. For this purpose, the oil was obtained and characterized, analyzing the content of β -carotene, flavonoids, free fatty acids, color and the molar absorptivity. The thermoxidative tests were performed at 140, 160 and 180 °C and during the tests samples were remove at 15, 30, 45, 60, 90, 120 and 140 minutes of heating and the characterization of the oils was performed.

The thermoxidative treatments caused degradation of the active compounds, since there was a reduction in the flavonoid and β -carotene contents of approximately 72% and 88%, respectively. However, small variations were determined for free fatty acids (FFA). The molar absorptivity of the oils increased with the temperature and exposure time by up to 1361% and 184% for the wavelengths of 232 nm and 270 nm, respectively, indicating the formation of primary and secondary degradation compounds. The color analysis of the oils showed that there was loss of coloration after the thermoxidative tests, which may be the result of the degradation of β -carotene. The results obtained for the effect of the heat treatment and time can contribute to the development of industrial processes destined to the preservation of the quality of the product.

KEYWORDS: *Acromia aculeata*. Vegetable oil. Thermodegradation.

1 INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) apresenta melhores condições de rendimento em terras de cerrado, possui resistência a doenças e apresenta elevado teor de óleo (em torno de 30%), sendo que sua produtividade varia entre 1500 e 5000 kg de óleo/hectare/ano (ABREU *et al.*, 2011). Quando comparado ao rendimento de culturas anuais como a soja que produz 420 litros, girassol com 890 litros e até mesmo a mamona com 1.320 litros de óleo/hectare/ano (CICONINI *et al.*, 2013), a cultura da macaúba se destaca com o seu alto potencial produtivo.

A polpa da macaúba apresenta em torno de 45% da composição do fruto (RAMOS *et al.*, 2008) e fornece um óleo com coloração amarelo-alaranjado, rico em compostos ativos, e na composição de ácidos graxos, altas concentrações dos ácidos oleico e palmítico (HIANE *et al.*, 2005; RAMOS *et al.* 2008; CICONINI *et al.*, 2013; AMARAL *et al.*, 2011; COIMBRA; JORGE, 2011). O óleo da polpa de macaúba pode ser classificado como monoinsaturado, já que mais de 50% de sua composição pertence à esta classe de ácidos graxos, atribuída principalmente à presença de ácido oleico, e por isso apresenta alta estabilidade oxidativa e boas características para o processamento industrial (CICONINI *et al.*, 2013; COIMBRA; JORGE, 2011; COSTA, 2012).

Dentre os compostos ativos presente na polpa da macaúba destaca-se o β -caroteno, um poderoso antioxidante, que é um precursor da vitamina A no

metabolismo humano e animal, e os flavonoides que pertencem ao grupo dos compostos fenólicos, destacando-se por sua atividade antioxidante e diversos efeitos biológicos (PRIOR; CAO, 2000; HUBER; RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

Para que um óleo vegetal possa ser adicionado a processos industriais de frituras, incorporado como ingrediente em determinado produto e utilizado em processos diversos, deve-se ter conhecimento sobre o real comportamento e estabilidade térmica destes quando submetidos nas condições de processamento (ALADEDUNYE; PRZYBLSKI; MATTHAUS, 2015). Tais condições podem comprometer as características do óleo vegetal, devido à formação de substâncias oriundas de reações térmicas, oxidativas e hidrolíticas. Cabe ressaltar ainda que compostos ativos presentes nos óleos vegetais são altamente propícios à degradação durante o processamento devido a vários efeitos ambientais, como o estresse térmico (TAI; CHEN, 2000). Dessa forma, as condições de processo podem diminuir ou eliminar os compostos ativos presentes na composição do óleo vegetal. A condução de ensaios termoxidativos é uma metodologia eficaz para simular o comportamento de óleos vegetais em condições de processo e é reportado na literatura na avaliação da qualidade de óleos de origens diversas.

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva a avaliação do perfil do óleo da polpa de macaúba quando submetido ao aquecimento em condições controladas. Os experimentos foram conduzidos com intuito de avaliar o efeito da temperatura e tempo de

exposição nas características físico-químicas e teores de compostos ativos do óleo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Em todos os experimentos, utilizaram-se frutos de macaúba da variedade *Acrocomia aculeata* coletados na região do Cariri no estado do Ceará, Brasil. Para as extrações foi utilizado o solvente *n*-hexano (Anidrol). Nas análises foram utilizados *n*-hexano (Anidrol), álcool etílico (Anidrol), éter etílico (Anidrol), ácido clorídrico (Anidrol) e padrão cromatográfico de β -caroteno (Sigma Adrich 99,9%).

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

Primeiramente, foi realizada a higienização dos frutos, seguida da remoção da polpa. A polpa foi seca em estufa com circulação de ar (Marconi, MA 035), por 8 h a 60 °C, trituradas em moinho elétrico (IKA, A 11/B) na velocidade de 14000 rpm e classificadas granulometricamente utilizando peneiras do tipo Tyler, com auxílio de um agitador mecânico de peneiras (Bertel, série 1.0).

2.2 EXTRAÇÃO DO ÓLEO

O óleo foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Trentini e colaboradores (2016), com algumas modificações, em que os autores obtiveram rendimento em óleo próximo a extração por Soxhlet. As extrações foram realizadas em câmara incubadora com agitação orbital e controle de temperatura (MARCONI, MA 839/A), utilizando razão polpa seca: *n*-hexano de 1:8 (massa:volume). Os experimentos foram conduzidos na temperatura de 40 °C, agitação de 100 rpm durante 8 h. Após a extração, o material sólido foi removido por filtração e o solvente foi

eliminado até peso constante em estufa com circulação de ar a 69 °C (MARCONI, MA 035).

2.3 ENSAIOS TERMOXIDATIVOS

Os ensaios termoxidativos foram realizados em chapa de aquecimento (IKA, RTC basic) nas temperaturas de 140, 160 e 180 °C, utilizando cerca de 20 g de óleo em um béquer de 100 mL, os quais foram submetidos a aquecimento por 140 min, sendo retiradas amostras de óleo em intervalos de 15, 30, 45, 60, 90, 120 e 140 min. As amostras obtidas foram acondicionadas em frascos âmbar e congeladas.

2.4 FLAVONOIDES TOTAIS

Para a determinação de flavonoides totais, seguiram-se as recomendações de Francis (1982), procedendo a diluição de 1 g de óleo em solução de etanol-HCl (1,5 mol.L⁻¹) até a concentração de 20 mg.mL⁻¹. A solução obtida foi armazenada na ausência de luz e em ambiente refrigerado por 12 h. Após esse período, o conteúdo foi filtrado e procedeu-se a leitura de absorbância das amostras em espectrofotômetro (KASUAKI-IL227) no comprimento de onda de 374 nm. A partir da Equação 1, foi possível obter o teor de flavonoides totais.

$$\text{Teor de flavonoides totais (mg 100g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Abs} \times F}{f_f} \quad (1)$$

Em que Abs é absorbância, F é fator diluição e f_f é fator de flavonoides (76,6).

2.3 TEOR DE ÁCIDOS GRAXOS LIVRES

O teor de ácidos graxos livres (AGL) foi determinado pelo método descrito pela AOCS Ca 5a-40 (AOCS, 2004), utilizando solução de hidróxido de potássio (0,05 mol L⁻¹). Cada amostra foi titulada em duplicata e o teor de AGL determinado conforme a Equação 2.

$$\text{AGL (mg100g}^{-1}) = \frac{P_m \times f_c \times v}{P \times 10} \quad (2)$$

Na qual v é volume gasto da solução de hidróxido de potássio (mL), f_c é fator de correção, P é massa da amostra (g) e P_m é o peso molecular do ácido oleico (282 g mol^{-1}).

2.5 ABSORTIVIDADE MOLAR

A absorvidade molar foi determinada com base no método proposto pela IUPAC (1979), em que o óleo foi diluído em *n*-hexano (2 mg mL^{-1}) para posterior leitura da absorvância em espectrofotômetro UV (FEMTO-700 plus) nos comprimentos de onda de 232 nm e 270 nm, em triplicata. A absorvidade molar foi calculada de acordo com a Equação 3.

$$\text{Absorvidademolar} = \frac{\text{Abs}}{P_a \times 10} \quad (3)$$

Em que Abs é a absorvância e P_a é massa da amostra (g)

2.6 β -CAROTENO

A fim de determinar o teor de β -caroteno nas amostras, o óleo foi diluído em *n*-hexano (2 mg mL^{-1}) e teor de β -caroteno foi determinado em espectrofotômetro UV (FEMTO,700 plus) no comprimento de onda de 450 nm e os ensaios foram realizados em duplicata. A quantificação do composto foi realizada através da curva de calibração obtida com soluções de padrão de β -caroteno em concentrações de 1 a 100 mg L^{-1} .

2.7 COR

A característica de cor foi avaliada pelos parâmetros do sistema CIE-LAB, utilizando colorímetro Color Reader (CR-10, Konica Minolta), equipado com detector de fotocélulas de silício e lâmpadas de

xenônio. O óleo foi colocado sobre a placa de petri e posteriormente realizaram-se as medições (em triplicata), para determinar os valores L^* (luminosidade), $+a^*$ (vermelho) para $-a^*$ (verde) e $+b^*$ (amarelo) para $-b^*$ (azul). Antes de cada análise, foi realizada a medição no centro de em uma placa de calibração.

No sistema de medidas colorimétricas CIELAB, recomendado pelo CIE (*Comission Internationale d'Eclairage*), a definição de cor é baseada em 3 valores, que compõe eixos com coordenadas X, Y e Z, convertidos em valores num espaço uniforme de cor para as coordenadas L^* , a^* , b^* (MACHADO *et al.*, 1997; MORI *et al.*, 2005). Esses valores fornecem informações sobre a cromaticidade e a luminosidade da amostra. Valores no eixo central L^* representam a luminosidade que é o percurso da cor preta ao branco em escala de 0 a 100, a^* representa a variação entre o verde e o vermelho e b^* entre o azul e o amarelo.

2.8 ANÁLISE DE DADOS

As análises foram realizadas em duplicata e os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão. Para avaliar a diferença entre os resultados obtidos foi realizado o teste de Análise de Variância (ANOVA), com teste de Tukey utilizando o *software* Excel® (2010), considerando um nível de significância de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 OBTENÇÃO DO ÓLEO

Foram obtidos 107,6 g de óleo nas extrações, sendo que 20 g de óleo foram utilizados para realizar cada ensaio. As características do óleo obtido estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características iniciais do óleo da polpa da macaúba

Características	Valores
Teor de AGL (mg.100 g ⁻¹)	2,71±0,02
Absortividade Molar (nm)	0,33±0,01 a 232 0,96±0,07 a 270
Cor	L* = 72,47±1,71 a* = 5,39±3,36 b* = 86,55±2,49
Flavonoides (mg.100 g ⁻¹)	10,32±0,08
β-caroteno (mg.100 g ⁻¹)	267,37±3,09

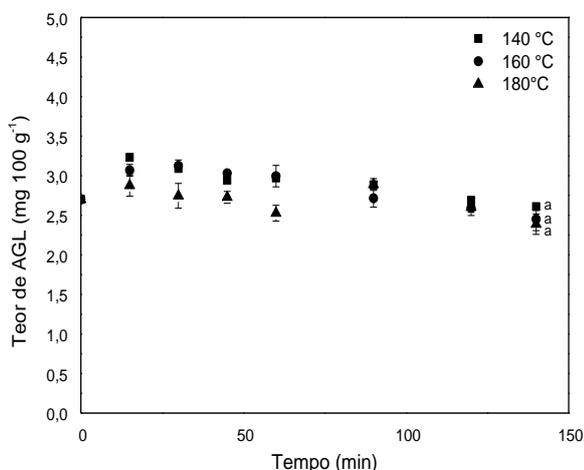
Fonte - Próprio autor.

3.2 ENSAIOS TERMOXIDATIVOS

3.2.1 ÁCIDOS GRAXOS LIVRES

Na Figura 1 estão apresentados os teores dos ácidos graxos livres do óleo após os ensaios termoxidativos, com a constatação de uma pequena oscilação nos valores perante os ensaios. Segundo Tompkins e Perkins (2000), isso se deve à perda de ácidos graxos livres moderadamente voláteis e ácidos orgânicos.

Figura 1 - Teor de ácidos graxos livres nas amostras após os ensaios termoxidativos



Fonte - Próprio autor.

De acordo com a RDC nº 270/2005, o valor máximo de AGL para óleos vegetais não refinados é de 2 mg de ácido oleico por 100 g de óleo (BRASIL, 2005). Portanto, os resultados obtidos encontram-se acima dos padrões estabelecidos pela legislação vigente. Os valores de acidez obtidos no presente estudo se assemelham com o resultado obtido por Costa (2012) para óleo da polpa de macaúba, o qual foi de 2,47 mg 100 g⁻¹, enquanto Nunes (2013) determinou 1 mg 100 g⁻¹ para o mesmo óleo.

3.2.2 FLAVONOIDES TOTAIS

Na Tabela 2 estão apresentados os teores de flavonoides totais do óleo após os ensaios termoxidativos.

Tabela 2 - Teor de flavonoides totais (mg 100 g⁻¹) dos óleos nos diferentes testes termoxidativos.

Tempo (min)	Temperatura (°C)		
	140	160	180
0	10,32±0,08 ^a	10,32±0,08 ^a	10,32±0,08 ^a
15	7,57±0,08 ^a	6,97±0,13 ^b	5,80±0,04 ^c
30	7,03±0,05 ^a	6,33±0,04 ^b	5,21±0,04 ^c
45	6,84±0,05 ^a	5,88±0,13 ^b	4,88±0,08 ^c
60	6,82±0,04 ^a	5,49±0,09 ^b	4,65±0,05 ^c
90	6,06±0,05 ^a	5,46±0,05 ^b	3,86±0,04 ^c
120	4,77±0,04 ^a	4,46±0,08 ^b	3,22±0,04 ^c
140	4,13±0,04 ^a	3,86±0,04 ^b	2,88±0,04 ^c

Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra, em cada linha, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte - Próprio autor.

O teor inicial de flavonoides da polpa de macaúba determinado no estudo foi semelhante ao valor reportado por Trentini e colaboradores (2016) que determinaram 13,78 mg 100 g⁻¹. Como mostra a Tabela 2, durante o ensaio termoxidativo ocorreu a degradação dos flavonoides com o aumento da

temperatura e tempo exposição. A magnitude de degradação desses compostos depende da temperatura, duração do aquecimento e estrutura molecular, sendo que estes parâmetros afetam sua estabilidade e atividade biológica (Chaaban *et al.*, 2017). Em média, os teores de flavonoides totais reduziram 6,6% com o aumento da temperatura de 140 °C para 160 °C e 11% de 160 °C para 180 °C.

Elhamirad e Zamanipoor (2012) investigaram a estabilidade térmica de alguns flavonoides em oleína de sebo e verificaram redução substancial no tempo de indução oxidativa com o aumento da temperatura de 120 °C para 180 °C. Forero-Doria e colaboradores (2017) avaliaram a oxidação térmica do óleo de abacate e azeite de oliva e relataram uma redução do teor de flavonoides totais de 78,7% e 27,6%, respectivamente, a 220 °C.

3.2.3 ABSORTIVIDADE MOLAR

A absorvidade molar é a constante de proporcionalidade que relaciona a absorvância com o caminho óptico e a concentração das espécies absorventes (ROCHA; TEIXEIRA, 2004). Segundo Ferrari e Souza (2009), o acompanhamento da oxidação do óleo pode ser feito através da absorvidade molar na região ultravioleta, a qual fornece informações sobre seu grau de oxidação. Os compostos primários da oxidação, dienos, apresentam valores máximos de absorvidade na faixa entre 220 nm e 234 nm. A partir de 265 nm são os compostos secundários da oxidação, trienos, aldeídos, cetonas, que apresentam maior absorção (CELLA; REGITANO-D'ARCE; SPOTO, 2002).

Nas Tabelas 3 e 4 estão apresentados os resultados obtidos para as absorvidades molares (232 nm e 270 nm) após os ensaios termoxidativos. É possível observar que houve aumento da absorvidade molar, para ambos os comprimentos de onda avaliados, com

a temperatura a qual o óleo é exposto, que se deve a maior formação dos compostos de degradação dos lipídeos.

Tabela 3 - Absortividade molar a 232 nm nos diferentes testes termoxidativos

Tempo (min)	Temperatura (°C)		
	140	160	180
0	0,33±0,01 ^a	0,33±0,01 ^a	0,33±0,01 ^a
15	2,77±0,02 ^a	2,95±0,03 ^b	2,97±0,02 ^b
30	2,85±0,05 ^a	2,98±0,01 ^{ab}	3,10±0,01 ^b
45	3,08±0,05 ^a	3,15±0,05 ^{ab}	3,17±0,01 ^b
60	3,09±0,02 ^a	3,35±0,08 ^b	3,37±0,39 ^b
90	3,17±0,01 ^a	3,37±0,03 ^b	3,42±0,02 ^b
120	3,27±0,01 ^a	3,71±0,01 ^b	3,94±0,01 ^c
140	3,65±0,13 ^a	4,17±0,01 ^b	4,49±0,14 ^c

Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Fonte - Próprio autor.

Tabela 4 - Absortividade molar a 270 nm nos diferentes testes termoxidativos

Tempo (min)	Temperatura (°C)		
	140	160	180
0	0,96±0,07 ^a	0,96±0,07 ^a	0,96±0,07 ^a
15	1,25±0,02 ^a	1,40±0,01 ^b	1,48±0,07 ^b
30	1,33±0,06 ^a	1,41±0,01 ^b	1,49±0,01 ^c
45	1,34±0,01 ^a	1,42±0,01 ^b	1,50±0,01 ^c
60	1,41±0,02 ^a	1,43±0,01 ^a	1,51±0,04 ^b
90	1,45±0,03 ^a	1,54±0,04 ^b	1,58±0,01 ^b
120	1,48±0,01 ^a	1,62±0,02 ^b	1,67±0,03 ^c
140	1,64±0,11 ^a	1,65±0,01 ^a	1,77±0,04 ^b

Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Fonte - Próprio autor.

A degradação dos lipídeos ocorre ao aquecer o óleo e a formação dos compostos de degradação influencia a estabilidade oxidativa dos óleos; os compostos primários de degradação (dienos) dos lipídeos são instáveis e se decompõem formando compostos secundários (trienos) (DEL RÉ; JORGE, 2006; FERRARI; SOUZA, 2009). Nunes (2013) relata em seu trabalho que o óleo bruto da polpa de macaúba sem aquecimento apresentou absorvidade molar de 2,00 a 232 nm, e de 0,55 a 270 nm e após o aquecimento de 4,5 h a 180 °C valores próximos de 7,9 a 232 nm e de 0,98 a 270 nm foram determinados.

Daskalaki e colaboradores (2009) avaliaram a qualidade do óleo de oliva durante o aquecimento a 180 °C. Os autores reportaram alterações na absorvidade molar do óleo de 1,81 para 6,35 e 0,18 para 1,36 a 232 e 270 nm, respectivamente, em um período de 60 min. Tais mudanças estão associadas à decomposição de hidroperóxidos durante a fritura.

3.2.4 β -CAROTENO

Na Tabela 5 estão apresentados os teores de β -caroteno após os ensaios termoxidativos. Pode-se observar nessa tabela que o teor de β -caroteno diminui cerca de 87,3% em 140 min para as três temperaturas estudadas. Além disso, nota-se que quanto maior a temperatura, maior é a deterioração do β -caroteno. A deterioração ocorre porque os carotenoides são sensíveis à luz, à temperatura, acidez e reações de oxidação (AMBRÓSIO; CAMPOS; FARO, 2006). Uenojo, Maróstica Junior e Pastore (2007) afirmaram que esses compostos têm uma baixa velocidade de degradação em temperatura ambiente, entretanto, com o aumento da temperatura essa velocidade é maior, o que também pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5 - Teor de β -caroteno ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) dos óleos nos diferentes testes termoxidativos

Tempo (min)	Temperatura (°C)		
	140	160	180
0	267,37 \pm 3,09 ^a	267,37 \pm 3,09 ^a	267,37 \pm 3,09 ^a
15	115,65 \pm 0,63 ^a	84,43 \pm 2,98 ^b	79,33 \pm 3,78 ^b
30	97,59 \pm 0,03 ^a	79,12 \pm 0,33 ^b	63,21 \pm 0,14 ^c
45	86,10 \pm 4,28 ^a	53,52 \pm 3,63 ^b	51,27 \pm 0,97 ^b
60	75,15 \pm 0,49 ^a	58,58 \pm 1,93 ^b	51,27 \pm 0,97 ^c
90	56,03 \pm 0,11 ^a	40,38 \pm 1,07 ^b	36,21 \pm 2,20 ^c
120	44,33 \pm 1,82 ^a	38,12 \pm 0,45 ^b	35,02 \pm 3,15 ^b
140	34,73 \pm 3,04 ^a	31,19 \pm 1,09 ^a	35,82 \pm 0,99 ^a

Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte - Próprio autor.

De acordo com Nunes (2013) o óleo da polpa de macaúba exposto a temperatura de fritura teve o teor de β -caroteno reduzido e os teores iniciais de

carotenoides dependem da região na qual os frutos foram coletados.

Sampaio e colaboradores (2013) avaliaram a cinética de degradação térmica de carotenoides no óleo de palma e observaram redução destes compostos de 18,6 e 26,1% para 170 e 190 °C, respectivamente. Já para temperatura de 230 °C, os autores relataram uma degradação significativa, em que foi possível monitorar este comportamento nos primeiros 60 min, visto que após este tempo o limite não foi detectável.

Rodrigues e colaboradores (2013), ao estudarem a degradação de carotenoides do azeite de pequi durante o aquecimento em temperatura de fritura, observaram que o teor de carotenoides levou aproximadamente 12 min para alcançar o tempo de meia-vida.

3.2.5 Cor

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados das características da cor dos óleos nos diferentes testes termoxidativos coletados no período de 140 min.

Pode-se observar na Tabela 6 que as amostras perdem a luminosidade, a coloração avermelhada e amarelada, se tornando próximas do incolor, sem cor. A amostra em temperatura ambiente apresenta maior coloração do que as aquecidas a 140, 160 e 180°C, sendo que a perda de coloração aumenta com a temperatura. Esse comportamento possivelmente é causado pela degradação do β -caroteno (BASTOS *et al.*, 2007). Segundo Nunes (2013), os carotenoides são os responsáveis pela cor do óleo da polpa da macaúba.

Tabela 6 - Características da cor dos óleos nos diferentes testes termoxidativos

Coordenadas	Temperatura (°C)			
	25	140	160	180
L*	72,46±1,71 ^a	67,55±2,45 ^{ad}	48,58±1,29 ^b	60,08±0,71 ^{cd}
a*	5,39±3,36 ^a	6,11±0,94 ^a	9,04±0,93 ^a	4,38±0,71 ^a
b*	86,55±2,49 ^a	36,87±1,83 ^b	28,90±0,93 ^b	34,49±0,70 ^b

Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra, não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Fonte - Próprio autor.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho relatou dados experimentais relacionados à qualidade do óleo da polpa de macaúba perante diferentes ensaios termoxidativos. Os resultados obtidos mostraram que as diferentes condições de processo tiveram menor influência nos teores de ácidos graxos livres. Contudo, o aumento do tempo e temperatura de processo causaram redução nos teores de flavonoides e β -caroteno em até aproximadamente 72% e 88%, respectivamente, o que possivelmente causou a perda de coloração dos óleos

analisados. Além disso, os testes termoxidativos podem ter resultados na formação de compostos de degradação primários e secundários, o que é sugerido pelo aumento da absorvidade molar. Os resultados obtidos no presente estudo mostram o efeito do tratamento térmico e do tempo na caracterização do óleo da polpa de macaúba, o que pode contribuir para o desenvolvimento de processos industriais que preservem a qualidade deste óleo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, I. S. *et al.* First karyotype, DNA C-value and AT/GC base composition of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) – a promising plant for biodiesel production. **Australian Journal of Botany**, v.59, p.149-155, 2011.
- ALADEDUNYE, F.; PRZYBYLSKI, R.; MATTHAUS, B. Performance of antioxidative compounds under frying conditions: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.57, p.1539–1561, 2015.
- AMARAL, F. P. *et al.* 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, p.12-20, 2011.
- AMBRÓSIO, C.L.B.; CAMPOS, F. A. C. C.S.; FARO, Z. P. Carotenoides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v.19, p.233-243, 2006.
- AOCS. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society** American Oil Chemists' Society, Champaign, 2004.
- BASTOS, D. H. M. *et al.* Determinação do perfil de compostos voláteis e avaliação do sabor e aroma de bebidas produzidas a partir da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) **Química Nova**, v.30, p.513-518, 2007.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 270 de 22 de setembro de 2005. **Regulamento Técnico para Óleos Vegetais, Gorduras Vegetais e Creme Vegetal**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 de setembro de 2005.
- CELLA, R. C. F.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.22, p.111-116, 2002.
- CHAABAN, H. *et al.* Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. **Journal of Food Processing and Preservation**, v, 41, e13203, 2017.
- CICONINI, G. *et al.* Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the cerrados and pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v.45, p.208-214, 2013.
- COIMBRA, M. C.; JORGE, N. Characterization of the pulp and kernel oils from *Syagrus oleracea*, *Syagrus romanzoffiana*, and *Acrocomia aculeata*. **Journal of Food Science**, v.76, 2011.
- COSTA, G. L. A. **Avaliação do Potencial Mutagênico, Antimutagênico e Antioxidante do Óleo da Polpa de Acrocomia aculeata (Arecaceae)**. 2012. 52f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2012.
- DASKALAKI, D. *et al.* Evaluation of phenolic compounds degradation in virgin olive oil during storage and heating. **Journal of Food and Nutrition Research**, v.48, p.31-41, 2009.
- DEL RÉ, P. V.; JORGE, N. Comportamento de óleos vegetais em frituras descontínuas de produtos pré-fritos congelados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 56-63, 2006.
- ELHAMIRAD, A. H.; ZAMANIPOOR, M. H. Thermal stability of some flavonoids and phenolic acids in sheep tallow olein. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.114, p.602-606, 2012.
- FERRARI, R. A.; SOUZA, W. L. Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Química Nova**, v.32, p.106-111, 2009.
- FORERO-DORIA, O. *et al.* Thermal analysis and antioxidant activity of oil extracted from pulp of ripe avocados. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v.130, p.959-966, 2017.
- FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: Markakis, P. (ed.). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, p.181-207, 1982.
- HIANE, P. A. *et al.* Bocaiúva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: characterization and fatty acid composition. **Brazilian Journal Food Technology**, v.8, p.256-259, 2005.
- HUBER, L.S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Flavonoids and flavones the Brazilian sources and factors that influence the composition in food. **Food and Nutrition**, v.19, p.97-108, 2008.
- IUPAC. **International Union of Pure and Applied Chemistry**. Standard methods for the 120 analysis of oils, fats and derivatives. (6ed.) Oxford: IUPAC, 1979.

MACHADO, P. P. *et al.* Controle de qualidade para revestimentos cerâmicos através da análise colorimétrica de superfície vidrada monocromática. **Cerâmica Industrial**, v.2, p. 51-55, 1997.

MORI, C. L. S. O. *et al.* Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus Spp.* **Cerne**, v. 11, p.137-146, 2005.

NUNES, A. A. **Óleo da Polpa de Macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. ex Mart.) com Alta Qualidade: Processo de Refino e Termoestabilidade**. 2013. 127f.. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2013.

PRIOR, R. L.; CAO, G. Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implication. **Horticultural Science**, v.35, p.588-592, 2000.

RAMOS, M. I. L. *et al.* Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. **Revista Ciência e tecnologia de alimentos**, v.28, p.90-94, 2008.

ROCHA, F. R. P.; TEIXEIRA, L. S. G. Estratégias para aumento de sensibilidade em espectrofotometria UV-VIS. **Química Nova**, v.27, p.807-812, 2004.

RODRIGUES, M. L. *et al.* Cinética da degradação de carotenoides e da alteração de cor do azeite de pequi submetido ao aquecimento em temperatura de fritura. **Ciência Rural**, v.43, 2013.

SAMPAIO, K. A. *et al.* Thermal degradation kinetics of carotenoids in palm oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.90, p.191-198, 2013.

TAI, C.Y.; CHEN, B.H. Analysis and stability of carotenoids in the flowers of daylily (*hemerocallis disticha*) as affected by various treatments. **Journal Agricultural Food Chemical**, v.48, p.5962-5968, 2000.

TOMPKINS, C.; PERKINS E. G. Frying performance of low-linolenic acid soybean oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v.77, p.223-229, 2000.

TRENTINI, C. P. *et al.* Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência Rural**, v.46, n. 4, p.725-731, 2016.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, v.30, n.3, p.616-622, 2007.