

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FAEN – FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE ALIMENTOS

ESTABILIDADE OXIDATIVA DOS ÓLEOS EXTRAÍDOS
DA POLPA E DA AMÊNDOA DO TUCUMÃ (*Astrocaryum Aculeatum*)
E SEU POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Inga Maria Jeremias

Dourados, 2026

ESTABILIDADE OXIDATIVA DOS ÓLEOS EXTRAÍDOS
DA POLPA E DA AMÊNDOA DO TUCUMÃ (*Astrocaryum Aculeatum*)
E SEU POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Inga Maria Jeremias

Documento apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliana Janet Sanjinez Argandoña

Co-orientador: Prof. Dr. Leandro Levate Macedo

**Dourados/MS
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

J55e Jeremias, Inga Maria

Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (Astrocaryum Aculeatum) e seu Potencial de Aplicação [recurso eletrônico] / Inga Maria Jeremias. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Eliana Janet Sanjinez Argandoña.

Coorientador: Leandro Levate Macedo.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Compostos bioativos. 2. Estabilidade oxidativa. 3. Frutos amazônicos. 4. Propriedades físicas e químicas. 5. Aplicação alimentar. I. Argandoña, Eliana Janet Sanjinez. II. Macedo, Leandro Levate. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

INGA MARIA JEREMIAS

ESTABILIDADE OXIDATIVA DOS ÓLEOS EXTRAÍDOS DA POLPA E DA AMÊNDOA DO TUCUMÃ (*Astrocaryum Aculeatum*) E SEU POTENCIAL DE APLICAÇÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Aprovado em: 03 de Fevereiro de 2026

Prof.^a Dr.^a Eliana Janet Sanjinez Argandoña
Orientadora

Prof. Dr. Leandro Levate Macedo
Coorientador

Prof.^a Dr.^a Rosalinda Arevalo Pinedo

Prof. Dr. William Renzo Cortez Vega

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação aos meus avós (*in memoriam*), aos meus pais e ao meu talismã, com gratidão por todo amor e inspiração que me deram. Obrigada por existirem!!

AGRADECIMENTOS

A quem agradecer?

Logo à partida estou diante da dificuldade de ter resposta, ainda que me tenha tentado colocar esta questão. Num contexto em que nossas vidas estão, obviamente, atreladas a tudo, duvido que cada um de nós se pertença como indivíduo, pois, renunciamos a nossa pertença, a nossa identidade, a nossa casa onde deveria caber toda a nossa humanidade, somos arrastados e corrompidos por estereótipos que (re) configuram-nos às novas relações virtuais.

Agradeço a Deus, por iluminar meu caminho, sustentar minhas forças e conceder sabedoria e coragem para enfrentar os desafios desta jornada.

Aos meus pais, Jeremias e Maria, agradeço-vos com orgulho, pois no manto desta distância, se tornaram duplamente nos pais dos meus filhos.

Aos meus filhos, Egon e Heliny que são meu farol e porto seguro, sou grata por me ensinarem a lutar, a persistir e a encontrar sentido mesmo nas ausências e desafios do dia a dia.

Aos meus irmãos, Cidália, Aristídes, Jermano, Teles e Nildrety que sempre estiveram ao meu lado oferecendo incentivo, apoio e amor, agradeço por me fortalecerem e me guiarem nos momentos de dificuldade.

À Professora Eliana, agradeço pela orientação paciente, confiança e incentivo constante, que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Aos professores, agradeço pelos ensinamentos, críticas construtivas e exemplos, que me inspiraram a buscar conhecimento e excelência. Às colegas do mestrado (Nathália, Daniele, Yasmin e Kátia), as amigas Naty, Cláudia e Orlanda e os Moçambicanos em Dourados, agradeço pelo apoio, incentivo e companheirismo, que tornaram esta trajetória mais leve e significativa.

A uma pessoa muito especial, JC, agradeço por sua energia, paciência e confiança. Onde minha bússola se perdia, sua mão guiava-me; onde minha luz se apagava, a sua iluminava o caminho.

A todos que, de alguma forma, compartilharam comigo aprendizado, afeto e inspiração, deixo minha sincera gratidão. Sem vocês, este trabalho não teria sido possível.

RESUMO

JEREMIAS, Inga Maria. Universidade Federal da Grande Dourados, Fevereiro de 2026.

“Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) e seu Potencial de Aplicação”. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliana Janet Sanjinez Argandoña.

A Floresta Amazônica abriga uma das maiores biodiversidades do planeta, reunindo espécies de expressivo interesse alimentar, nutricional e tecnológico. Entre elas, destaca-se o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), fruto com elevado valor nutricional e ainda pouco explorado cientificamente. A escassez de estudos sobre o tucumã do Amazonas representa uma lacuna importante, principalmente quanto à caracterização e estabilidade dos óleos obtidos de suas diferentes partes, limitando seu aproveitamento industrial e comercial. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa (mesocarpo) e da amêndoa (endocarpo) do tucumã, visando compreender sua viabilidade de aplicação na indústria de alimentos. Foram realizados a extração e a caracterização física e química dos óleos, incluindo índices de acidez, iodo e peróxidos, teor de carotenoides e período de indução (Rancimat). Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os óleos analisados: o óleo da polpa apresentou maior rendimento, elevadas concentrações de AGI (66,8%), estabilidade oxidativa inicial (20h) e carotenoides (512 μ g/g), enquanto que o óleo da amêndoa apresentou maior concentração em AGS, com 91,3%, estabilidade oxidativa inicial de 10h. Ambos mostraram-se compatíveis com os padrões da ANVISA para óleos comestíveis e indicaram potencial promissor de aplicação em produtos alimentícios. Assim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), reforçando sua importância como recurso natural amazônico de elevado valor nutricional e tecnológico, e ampliando as possibilidades de uso de seus óleos em formulações alimentares e funcionais.

Palavras-chave: compostos bioativos; estabilidade oxidativa; frutos amazônicos; propriedades físicas e químicas; aplicação alimentar.

ABSTRACT

JEREMIAS, Inga Maria. Federal University of Grande Dourados, February 2026. “**Oxidative Stability of Oils Extracted from the Pulp and Kernel of Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) and Their Application Potential**”. Advisor: Prof. Dr. Eliana Janet Sanjinez Argandoña.

The Amazon Rainforest hosts one of the greatest biodiversities on the planet, comprising species of remarkable food, nutritional, and technological interest. Among them, tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) stands out as a fruit with high nutritional value that remains underexplored scientifically. The scarcity of studies on tucumã from the Amazon represents an important gap, particularly regarding the characterization and stability of oils obtained from its different parts, which limits their industrial and commercial utilization. This study aimed to evaluate the oxidative stability of oils extracted from the pulp (mesocarp) and kernel (endocarp) of tucumã, in order to assess their feasibility for application in the food industry. Oil extraction and physicochemical characterization were performed, including acidity, iodine, and peroxide values, carotenoid content, and induction period (Rancimat). The results revealed significant differences between the oils: pulp oil showed higher yield, elevated levels of unsaturated fatty acids (66.8%), higher initial oxidative stability (20 h), and carotenoid content (512µg/g), whereas kernel oil presented a higher concentration of saturated fatty acids (91.3%), initial oxidative stability of 10h. Both oils complied with ANVISA standards for edible oils and demonstrated promising potential for food applications. Thus, this study contributes to advancing knowledge on tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), reinforcing its importance as an Amazonian natural resource of high nutritional and technological value and expanding the possibilities for the use of its oils in food and functional formulations.

Keywords: bioactive compounds; oxidative stability; Amazonian fruits; physicochemical properties; food application.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Palmeira de <i>Astrocaryum aculeatum</i> (A); Frutos de <i>A. aculeatum</i> (B)	4
Figura 2 - Fruto do tucumã (<i>Astrocaryum Aculeatum</i>) e suas partes externas e internas; A) aspectos externos; B) aspectos internos.....	4
Figura 3 - Óleos do tucumã do Amazonas e do Pará	7

Manuscrito II

Figura 1 - Obtenção do Óleo de Tucumã por Prensagem Mecânica	40
Figura 2 - Índice de Acidez de óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE	60
Figura 3 - Índice de Peróxido de óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE	61
Figura 4 - Índice de lodo de óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE	62
Figura 5 - Período de Indução (PI) por Rancimat de óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE.....	63
Figura 6 - Carotenoides nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE	62
Figura 7 – Curvas de DSC e TGA do óleo da polpa de <i>A. aculeatum</i>	65
Figura 8 - Curvas de DSC e TGA do óleo da amêndoa de <i>A. aculeatum</i>	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição nutricional do mesocarpo do tucumã	5
Tabela 2 - Comparação entre frutos do tucumã do Amazonas (<i>Astrocaryum Aculeatum</i>) e do tucumã do Pará (<i>Astrocaryum Vulgare</i>)	6
Tabela 3 - Índices de acidez, iodo e peróxidos do óleo de tucumã do Amazonas (<i>Astrocaryum aculeatum</i>).....	10
Tabela 4 - Composição de ácidos graxos do óleo de tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)...	12

Manuscrito I

Tabela 1 - Aspectos morfométricos do fruto e rendimento da polpa e da amêndoa do <i>Astrocaryum aculeatum</i>	29
Tabela 2 - Parâmetros de cor (L*, a* e b*) do mesocarpo dos frutos de tucumã	30
Tabela 3 - Composição química da polpa do tucumã	31
Tabela 4 - Composição química da amêndoa do tucumã	32

Manuscrito II

Tabela 1 - Rendimento dos óleos de polpa e amêndoa de <i>A. aculeatum</i>	48
Tabela 2 – Caracterização física e química dos óleos de polpa e amêndoa de <i>A. aculeatum</i>	50
Tabela 3 - Caracterização da fração lipídica dos óleos de polpa e amêndoa de <i>A. aculeatum</i>	51
Tabela 4 - Perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de <i>A. Aculeatum</i> (tempo inicial)	52
Tabela 5 - Perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de <i>A. Aculeatum</i> após 30 dias de estufa.....	55
Tabela 6 – Teor de carotenoides nos óleos da polpa e da amêndoa de <i>A. Aculeatum</i>	57
Tabela 7 - Variação dos índices de acidez (IA), iodo (II), peróxidos (IP), período de indução (PI - Rancimat) e carotenoides do óleo da polpa de tucumã durante armazenamento acelerado (50°C; 85% URE).....	58
Tabela 8 - Variação dos índices de acidez (IA), iodo (II), peróxidos (IP), período de indução (PI - Rancimat) e carotenoides do óleo da amêndoa de tucumã durante armazenamento	

acelerado (50°C; 85% URE).....	59
Tabela 9 – Tempo de indução à oxidação do óleo da polpa de <i>A. aculeatum</i> pelo TESTO	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

µg	Micrograma
A. aculeatum	<i>Astrocaryum aculeatum</i>
AGI	Ácidos graxos insaturados
AGS	Ácidos graxos saturados
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
b.s.	Base seca
Cm	Centímetro
°C	Graus Celsius
(g)	Gramma
H	Hora
HCl	Ácido clorídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Constante de degradação
Kg	Quilograma
KCl	Cloreto de potássio

L	Litro
M	Molar
m/m	Massa por massa
Mg	Miligrama
Min	Minutos
MP	Matéria-prima
m/v	Massa por volume
Nm	Nanômetros
PA	Para análises
Ph	Potencial hidrogeniônico
PI	Período de indução
R	Rendimento
Rpm	Rotações por minuto
S	Segundos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1. Família Arecaceae	2
2.2. Tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>)	3
2.3. Caracterização física e química do óleo do tucumã.....	6
2.4. Métodos de extração de óleos vegetais	7
2.4.1. Prensagem mecânica	8
2.4.2. Extração com solventes.....	8
2.4.3. Extração mista	8
2.5. Controle de qualidade dos óleos	9
2.6. Composição de Ácidos Graxos	9
2.7. Oxidação lipídica em óleos vegetais	10
2.8. Fatores que influenciam a estabilidade oxidativa.....	10
2.9. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa	10
2.10. Estabilidade Oxidativa de Óleos Vegetais	11
2.11. Potencial nutricional e tecnológico do tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>).....	12
2.12. Perspectivas de aplicação	12
3. OBJETIVOS	20
3.1. Objetivo geral.....	20
3.2. Objetivos específicos	20
4. MANUSCRITOS	21
4.1. Manuscrito I – Caracterização física e química dos frutos do Tucumã.	21
4.2. Manuscrito II – Estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e amêndoa do Tucumã (<i>Astrocaryum Aculeatum</i>)	35
5. CONCLUSÃO GERAL	64
Apêndice A – Dados completos do TESTO para os óleos de tucumã.....	104

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é reconhecido mundialmente por sua vasta biodiversidade, abrigando cerca de 22% das espécies nativas do planeta. Grande parte dessa riqueza biológica está concentrada na Floresta Amazônica, que desempenha papel fundamental tanto no equilíbrio ambiental quanto na economia nacional, ao fornecer uma ampla variedade de recursos naturais, como espécies vegetais, animais e minerais (Percope et al., 2015; Silva et al., 2020). Entre as espécies vegetais amazônicas, destacam-se as oleaginosas, que fornecem óleos vegetais extraídos tanto das sementes quanto das polpas. Esses óleos apresentam propriedades físicas interessantes e componentes químicos importantes, como proteínas, lipídios, ácidos graxos e compostos do metabolismo secundário, incluindo pigmentos e compostos fenólicos que lhes conferem potencial econômico para diversos setores, como o alimentício, cosmético e de biocombustíveis (Saraiva, 2008; Santos et al., 2015; Oliveira et al., 2021). Compostos bioativos presentes nesses óleos, como carotenoides e ácidos graxos insaturados, apresentam benefícios à saúde, atuando na prevenção de enfermidades crônicas e degenerativas (Van Duyn & Pivonka, 2000; Souza et al., 2022). Contudo, a instabilidade oxidativa desses compostos representa um dos principais desafios tecnológicos, uma vez que influencia diretamente a qualidade, a segurança e a vida de prateleira dos produtos derivados (Melo et al., 2019; Zaninetti et al., 2021).

Nesse contexto, destaca-se o tucumã, fruto da palmeira nativa da região amazônica conhecida como tucumanzeiro, pertencente à família *Arecaceae* e ao gênero *Astrocaryum*. Dentre as espécies consumidas, ressaltam-se o *Astrocaryum vulgare* Mart. (tucumã-do-Pará) e o *Astrocaryum aculeatum* Meyer (tucumã-do-Amazonas) (Melo, 2014; Moraes & Gutjahr, 2009; Zaninetti et al., 2021). Sendo este último o foco do presente estudo.

O fruto do *tucumã-do-Amazonas* fornece polpa e amêndoa comestíveis, sendo que a polpa representa cerca de 25% do peso do fruto fresco e maduro (Ferreira et al., 2008; Simões, 2010). A polpa contém entre 33 e 47,5% de óleo, com composição semelhante ao óleo de palma, rica em ácido palmítico (~44%) e oleico (~39%), perfil que garante estabilidade e ampla aplicação industrial, reforçando o potencial econômico do tucumã (Yuyama et al., 2005; Leitão, 2008). Quando maduros, os frutos apresentam coloração amarelo-alaranjada e polpa rica em carotenoides, proteínas, lipídios, carboidratos e fibras, o que lhes confere alto valor nutricional. O óleo extraído

da polpa apresenta coloração amarelada intensa, reflexo de sua riqueza em pigmentos (Simões, 2010; Zaninetti et al., 2021). Apesar de seu reconhecido potencial, o *Astrocaryum aculeatum* permanece pouco estudado quando comparado ao *Astrocaryum vulgare*, sobretudo quanto à caracterização dos óleos extraídos de suas diferentes partes (polpa e amêndoa) e à sua estabilidade oxidativa. Essa lacuna limita o uso do tucumã-do-Amazonas como matéria-prima para formulações alimentares e funcionais.

Assim, este estudo avaliou e comparou a estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), investigando suas propriedades físicas, químicas e bioativas, bem como seu potencial de aplicação tecnológica. O trabalho contribui para a caracterização comparativa desses óleos sob condições controladas de armazenamento, ampliando o conhecimento científico sobre frutos amazônicos e fortalecendo o aproveitamento sustentável de recursos naturais regionais. Além disso, a pesquisa dialoga com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, especialmente o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao explorar o potencial funcional e nutricional dos óleos; o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao fomentar a inovação tecnológica baseada em biodiversidade; e o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ao incentivar o uso sustentável de matérias-primas amazônicas e a agregação de valor a cadeias produtivas regionais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Família Arecaceae (Palmeiras)

A família Arecaceae, comumente conhecida como palmeiras, é um grupo de plantas monocotiledôneas amplamente distribuído em regiões tropicais e subtropicais do mundo, sendo especialmente diverso na América do Sul e na Amazônia (Dransfield et al., 2008; Henderson et al., 2011). As palmeiras desempenham um papel ecológico fundamental, contribuindo para a manutenção da biodiversidade, fornecendo *habitat* e alimento para diversas espécies de fauna, além de participarem do ciclo de nutrientes nos ecossistemas florestais (Tomlinson, 2006; Baker et al., 2019).

Do ponto de vista econômico, as Arecaceae são de grande relevância, fornecendo frutos comestíveis, óleos, fibras que podem ser matéria-prima para a indústria cosmética, farmacêutica e de biocombustíveis (Menezes et al., 2020; Souza et al.,

2022). Espécies como *Elaeis guineensis* (dendê), *Cocos nucifera* (côco) e *Astrocaryum aculeatum* (tucumã) destacam-se tanto pela produção de óleo quanto pelo valor nutricional e potencial tecnológico (Pereira et al., 2021).

No contexto amazônico, as palmeiras nativas têm importância socioeconômica e cultural significativa, sendo utilizadas por comunidades tradicionais para alimentação, construção, artesanato e medicina tradicional (Silva et al., 2019; Carvalho et al., 2021). Entre essas espécies, o gênero *Astrocaryum* destaca-se devido à composição de seus frutos, que contêm polpa e amêndoa ricas em lipídios, carotenoides e outros compostos bioativos (Alves et al., 2020; Oliveira et al., 2022).

O estudo das palmeiras amazônicas, portanto, não apenas contribui para a conservação da biodiversidade, mas também permite identificar espécies com alto valor agregado, integrando conhecimento ecológico e inovação tecnológica (Barbosa et al., 2021).

2.2. Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) é uma palmeira nativa da região amazônica, amplamente distribuída em áreas de floresta primária e secundária do Brasil, Peru, Colômbia, Bolívia e Guianas (Moraes & Gutjahr, 2009; Melo, 2014). Pertencente à família Arecaceae, o tucumã apresenta frutos característicos com polpa amarelada ou alaranjada e uma amêndoa dura, possuindo relevância ecológica, nutricional e econômica (Yuyama et al., 2005; Simões, 2010).

A palmeira apresenta porte médio a alto, com tronco espinhoso e folhas pinadas, características típicas do gênero *Astrocaryum* (Figura 1A). Seus frutos (Figura 1B) são consumidos *in natura*, processados para extração de óleo ou utilizados na alimentação animal e humana (Ferreira et al., 2008). A amêndoa, por sua vez, produz óleo mais estável, com perfil lipídico predominante em ácidos graxos saturados (Zaninet et al., 2021; Ribeiro et al., 2022). Além do valor nutricional, o tucumã possui relevância socioeconômica para comunidades tradicionais amazônicas, sendo fonte de subsistência, geração de renda e identidade cultural. Frutos, óleos e derivados são comercializados em feiras locais e usados em receitas na culinária local, destacando-se também na fabricação de cosméticos artesanais e produtos artesanais sustentáveis (Silva et al., 2019; Carvalho et al., 2021).

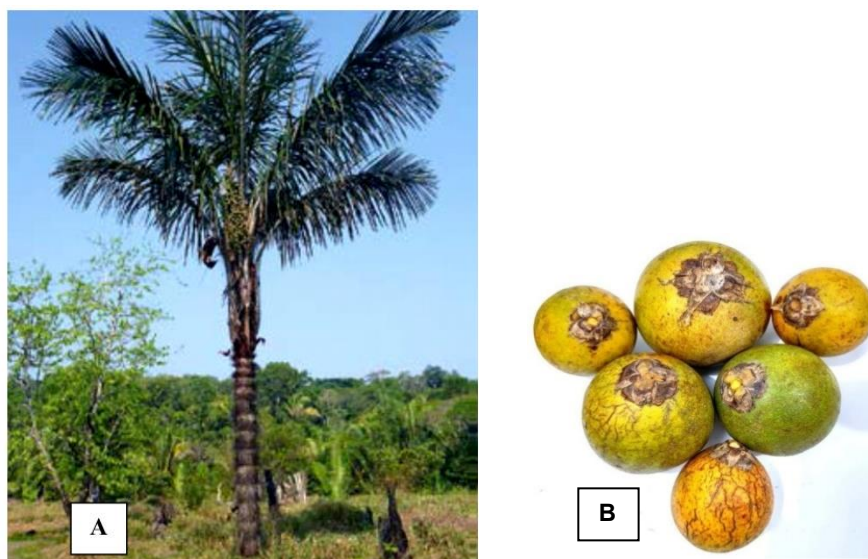


Figura 1 - (A) Palmeira de *Astrocaryum aculeatum*; (B) Frutos de *A. aculeatum* de diferentes tamanhos e colorações

Fonte: Carrero (2017); Acervo pessoal da autora

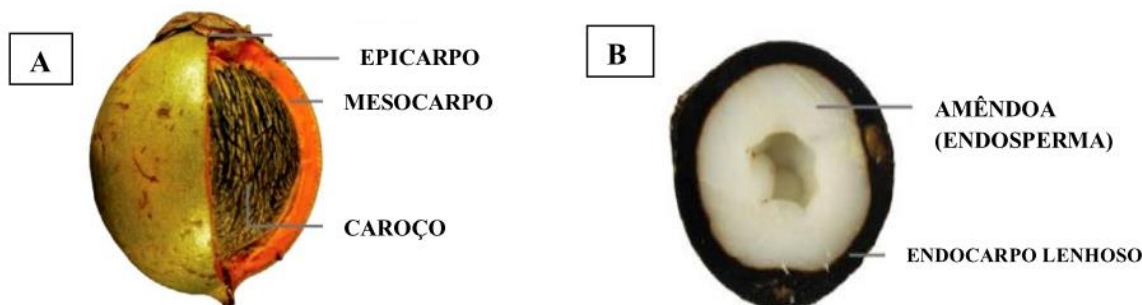


Figura 2 - Fruto do tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) e seus aspectos externos e internos; A) aspectos externos; B) aspectos internos.

Fonte: Adaptado de Didonet et al., 2020.

O conhecimento detalhado das propriedades físicas, químicas e bioativas do tucumã é essencial para apoiar estratégias de valorização econômica e conservação da espécie, promovendo seu uso sustentável e incentivando a pesquisa de novos produtos a partir da polpa e amêndoa (Barbosa et al., 2021; Oliveira et al., 2022).

Leitão (2008) realizou a caracterização morfológica, física e química dos frutos e sementes de *Astrocaryum aculeatum* oriundos de uma floresta secundária no município de Itacoatiara-AM/Brasil. Nesse estudo, foram analisadas as propriedades físicas e químicas e o teor de macronutrientes e microminerais do mesocarpo, que

apresentou coloração amarelo-laranja, textura cremosa, sabor agradável e constituintes nutricionais relevantes para a saúde humana e animal, conforme resumido na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição nutricional do mesocarpo do tucumã

Componentes	Valor
Lipídeos (%)	25,19
Fibras (%)	28,71
Proteínas (%)	3,39
Calorias (kcal/100g)	320
Carboidratos (%)	19,25

Elementos Minerais (Polpa)	
C – Cálcio (mg)	88,09
P – Potássio (mg)	85,72

Micro – Minerais	
Fe – Ferro (µg)	576,93
Zn – Zinco (µg)	213,97
Cr – Cromo (µg)	388,28
Mn – Magnésio (µg)	189,42

Fonte: Leitão, 2008.

Outro representante do gênero *Astrocaryum* é o tucumã do Pará (*Astrocaryum vulgare*), considerado nativo desse estado, com ocorrência também no leste da Amazônia, Guiana Francesa e Suriname (COSTA; LEEUWEN; COSTA, 2005). Esta espécie do tucumã apresenta diferenças morfológicas e físicas em relação ao tucumã do Amazonas, conforme evidenciado na Tabela 2. O fruto do tucumã do Amazonas é maior em comprimento e diâmetro que o do Pará. Sua polpa pode variar em coloração, apresentando-se amarela ou alaranjada, com consistência compacta e firme, enquanto que a polpa do tucumã do Pará é predominantemente alaranjada, com textura pastosa, oleosa e ligeiramente fibrosa.

Tabela 2 - Comparação entre tucumã do Amazonas (*Astrocaryum Aculeatum*) e tucumã do Pará (*Astrocaryum Vulgare*)

Componentes	Tucumã do Amazonas	Tucumã do Pará
Estipes	1	2 a 20
Diâmetro do estipe (cm)	15 a 33	15 a 20
Cor da casca do fruto	Verde, amarelo	Alaranjada
Comprimento do fruto (cm)	4,5 a 6 cm	3,5 a 4,5
Diâmetro do fruto (cm)	3,5 a 4,5	2,5 a 3,5
Cor da Polpa	Alaranjada ou amarela	Alaranjada
Consistência da polpa	Compacta, firme	Pastosa – oleosa, pouco fibrosa

Fonte: Adaptado de Costa; Leeuwen; Costa (2005).

2.3. Caracterização Física e química do óleo

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 481, de 15 de março de 2021, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), define óleos vegetais como produtos constituídos majoritariamente por glicerídeos de ácidos graxos, podendo conter também pequenas quantidades de outros lipídios como fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres, naturalmente presentes nos óleos ou gorduras extraídos de espécies vegetais. Na temperatura ambiente (25°C), os óleos vegetais permanecem líquidos.

Os principais ácidos graxos encontrados nos óleos vegetais incluem o ácido palmítico, palmitoleico, oléico, linoléico, linolênico e esteárico. Suas estruturas químicas influenciam diretamente nas propriedades funcionais, nutricionais e a estabilidade oxidativa dos óleos (LIMA, 2009). Do fruto do tucumã (*A. aculeatum*), podem ser extraídos dois tipos de óleo: o proveniente da polpa e o extraído da amêndoa, geralmente denominado “manteiga de tucumã”. O óleo da polpa possui coloração amarelo-alaranjada e apresenta consistência líquida (PESCE, 2009; SIMÕES, 2010). O óleo extraído da amêndoa apresenta coloração branca, textura macia e é sólida em temperatura ambiente (OLIVEIRA, 2019).

Segundo Silveira (2017), o óleo do tucumã do Amazonas apresenta tonalidade mais clara em comparação ao tucumã do Pará (Figura 3), que possui maior concentração de pigmentos como β -caroteno, flavonoides e clorofila. De acordo com o autor, a concentração de β -caroteno no óleo do *A. aculeatum* é de 28,6 $\mu\text{g/g}$ e para o óleo do *A. Vulgare* é de 243,4 $\mu\text{g/g}$.



Figura 3 - Óleos de tucumã do Amazonas e tucumã do Pará
Fonte: Silveira (2017)

2.4. Métodos de Extração de Óleos Vegetais

A extração dos óleos pode ser realizada por diferentes métodos, como por exemplo a prensagem mecânica, extração por solventes ou por fluido supercrítico. A prensagem mecânica é o método mais utilizado em indústrias da região amazônica, por ser mais acessível e de menor impacto ambiental (FERREIRA, 2019).

2.4.1. Prensagem mecânica

Esta técnica foi, até a década de 1940, o método mais empregado para a extração de óleos vegetais. Baseia-se em forças de compressão para separar o óleo da matriz sólida, sendo operada por prensas contínuas ou descontínuas. Entre as principais vantagens estão o baixo custo, a simplicidade de operação e ausência do uso de solventes (VASCONCELOS, 2010). No estudo de Zaninetti (2009), foi realizada a extração do óleo da polpa do tucumã por prensagem mecânica utilizando uma prensa ERCITEC modelo MPE-40. A preparação da polpa consistiu da secagem em estufa a 38°C por 48 horas, até atingir umidade entre 5% e 8%, seguida de aquecimento em banho-maria a 70 °C. O óleo obtido foi armazenado e posteriormente analisado quanto às suas propriedades físicas e químicas. O rendimento aparente da prensa para a extração de óleo da polpa foi observado entre cerca de 70% a 73% do total de lipídios presentes na matéria-prima, indicando que a técnica de prensagem mecânica pode extrair a maior parte do óleo disponível na polpa do fruto de tucumã.

2.4.2. Extração com solventes

É uma técnica amplamente utilizada em escala laboratorial e industrial. Um dos solventes mais empregados é o hexano, devido à sua eficiência de extração e fácil remoção por evaporação. Esse método é particularmente eficiente para materiais com baixo teor de óleo, permitindo maior rendimento em relação a extração por prensagem macanica. A extração ocorre por difusão do solvente através de um leito da amostra triturada, seguida da remoção do solvente via rotaevaporador sob pressão reduzida (VASCONCELOS, 2010; TANDY, 1991).

Vasconcelos (2010) extraiu óleos da polpa do tucumã do Amazonas e do Pará utilizando extração com hexano, obtendo rendimento em torno de 35,67% para o tucumã do Amazonas e 25,67% para o do Pará, o que evidencia o maior teor lipídico do primeiro.

2.4.3. Extração por fluido supercrítico

A extração por fluido supercrítico (EFS) é uma técnica avançada e ambientalmente segura para obtenção de óleos vegetais. Nessa metodologia, o dióxido de carbono (CO_2) é utilizado como solvente em condições de temperatura e pressão acima de seu ponto crítico (31,1 °C e 73,8 bar), nas quais o fluido apresenta propriedades intermediárias entre um gás e um líquido.

Essa característica confere ao CO_2 supercrítico alta difusividade e baixa viscosidade, o que permite excelente penetração na matriz vegetal e eficiente solubilização dos compostos lipídicos. A seletividade do processo pode ser ajustada variando a pressão e a temperatura, possibilitando a extração de compostos específicos, como carotenoides, tocoferóis e ácidos graxos (VASCONCELOS, 2010; MATOS, 2011).

Entre as principais vantagens desse método estão a ausência de resíduos tóxicos no produto final (o CO_2 é facilmente removido por despressurização); preservação de compostos termossensíveis, como antioxidantes e pigmentos e a possibilidade de fracionamento seletivo dos constituintes do óleo.

Como desvantagens, destacam-se o alto custo de instalação e operação, além da necessidade de equipamentos específicos de alta pressão.

Estudos com óleos amazônicos, incluindo o de tucumã, mostram que a EFS produz óleos de maior pureza, cor mais clara e menor índice de acidez, sendo uma alternativa

promissora às técnicas convencionais de prensagem e extração com solventes (Vasconcelos, 2010; Didonet et al., 2020).

2.4.4. Extração mista

Também denominada por extração com pré-prensagem e solvente, envolve uma etapa inicial de prensagem para obtenção do óleo bruto, seguida da extração do óleo presente na torta. Essa abordagem permite a extração mais eficiente do óleo presente na matéria-prima (TANDY, 1991; MATOS, 2011).

2.5. Controle de qualidade dos óleos

Os parâmetros físicos e químicos dos óleos extraídos do tucumã incluem índice de acidez, índice de iodo, índice de peróxidos e índice de saponificação. Esses parâmetros são importantes para avaliar a qualidade do óleo e sua estabilidade oxidativa.

- Índice de acidez (IA): indica a quantidade de ácidos graxos livres formados por hidrólise dos triglicerídeos. Valores altos indicam degradação e baixa qualidade do óleo.
- Índice de peróxido (IP): mede os produtos primários da oxidação lipídica. Valores elevados indicam início do ranço oxidativo.
- Índice de iodo (II): avalia o grau de insaturação dos ácidos graxos; quanto maior, maior a tendência à oxidação.
- Índice de saponificação (IS): representa a quantidade de KOH necessária para saponificar 1 g de óleo, refletindo o tamanho médio das cadeias de ácidos graxos (quanto maior o IS, menores as cadeias e maior a susceptibilidade à oxidação).

Esses parâmetros, combinados, são essenciais para determinar a qualidade, pureza e estabilidade dos óleos vegetais (ANVISA, 2010; Frankel, 2010).

A Tabela 3 apresenta a comparação entre diferentes estudos quanto aos índices de acidez, iodo, peróxidos e saponificação dos óleos da polpa do tucumã do Amazonas. Os valores de índice de acidez encontrados por Pantoja (2013) e Silveira (2017) obedecem a legislação RDC nº 270/2005 da ANVISA (2005), que estabelece o valor máximo de 4,00 mg KOH/g para óleos comestíveis. Entretanto, o alto índice de acidez

observado por Zaninett (2009) e Barbosa et al. (2007), foi para estudos com foco em biodiesel, com a necessidade de adequação na colheita, extração e armazenamento.

Tabela 3 - Índices de acidez, iodo e peróxidos do óleo da polpa do tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*)

Análises	*Barbosa et al (2007)	*Zaninett (2009)	Vasconcelos (2010)	Pantoja (2013)	Silveira (2017)
Índice de Acidez (mg KOH/g)	37,52	7,11	4,32	2,60	2,42
Índice de Iodo (g I ₂ /100g)	11,43	113,84	-	73,50	81,45
Índice de Peróxido (mEq O ₂ /Kg)	13,95	30,78	3,88	3,95	2,42

*Óleos destinados para biodiesel

2.6. Calorimetria Exploratoria Diferencial

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), do inglês *Differential Scanning Calorimetry*, é uma técnica termoanalítica derivada da Análise Térmica Diferencial (DTA), que possibilita a avaliação qualitativa e quantitativa de processos físicos e químicos associados à absorção ou liberação de energia, como transformações endotérmicas e exotérmicas. O método baseia-se na medição da diferença de fluxo de calor entre a amostra e um material de referência, submetidos a um programa controlado de aquecimento ou resfriamento, mantendo-se ambas sob condições térmicas equivalentes, o que permite identificar eventos térmicos característicos dos materiais analisados (SILVA et al., 2007; MOTHÉ E AZEVEDO, 2009; OLIVEIRA et al., 2011).

As curvas obtidas por DSC permitem a identificação de diversos fenômenos, incluindo processos de quimiossorção, dessolvatação, desidratação, decomposição térmica, degradação oxidativa, oxidação em atmosfera gasosa, reações de oxirredução, transformações no estado sólido, polimerização, bem como reações catalíticas, entre outros eventos associados à estabilidade térmica e reatividade dos materiais (MOTHÉ E AZEVEDO, 2009; STORPIRTIS et al., 2011).

No contexto da ciência e tecnologia de alimentos, a DSC tem ampla aplicação na caracterização térmica de matérias-primas e produtos alimentícios, sendo empregada na avaliação de transições de fase, comportamento de fusão e cristalização de

lipídios, além da investigação da estabilidade térmica e oxidativa de óleos e gorduras. Essa técnica fornece informações relevantes sobre a resistência dos componentes alimentares ao aquecimento, auxiliando na compreensão de seu desempenho durante o processamento, armazenamento e aplicação tecnológica, especialmente em produtos submetidos a tratamentos térmicos.

2.7. Teste de Estabilidade Oxidativa (TESTO)

O Teste de Estabilidade Oxidativa (TESTO) é um método amplamente empregado para avaliar a resistência de óleos e gorduras à oxidação lipídica, fornecendo informações relevantes sobre sua estabilidade frente a condições aceleradas de estresse térmico e oxidativo. A oxidação lipídica é um dos principais fatores responsáveis pela deterioração da qualidade de produtos alimentícios ricos em lipídios, estando associada à formação de compostos indesejáveis que comprometem o valor nutricional, sensorial e a segurança dos alimentos.

O princípio do TESTO baseia-se na submissão da amostra a temperaturas elevadas, sob fluxo contínuo de ar ou oxigênio, promovendo a oxidação acelerada dos constituintes lipídicos. Durante o ensaio, os produtos voláteis formados, especialmente ácidos orgânicos resultantes da degradação oxidativa, são transportados para um meio aquoso, no qual são detectados por variações na condutividade elétrica. O tempo necessário para o aumento acentuado dessa condutividade é denominado período de indução, parâmetro utilizado como indicador da estabilidade oxidativa do material analisado.

2.8. Composição de Ácidos Graxos

A análise do perfil de ácidos graxos do óleo de tucumã revela predominância de ácido oléico, seguido dos ácidos palmítico, esteárico e linoleico. A tabela 4 apresenta os valores de ácidos graxos no óleo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) verificados em dois estudos relevantes.

Tabela 4 - Composição percentual de ácidos graxos no óleo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

Ácidos Graxos	Vasconcelos (2010)	Zaninett (2009)
Palmítico (%)	22,7	7,38
Palmitoléico (%)	0,3	-
Esteárico (%)	33,9	5,28
Oléico (%)	38,7	73,28
Linoléico (%)	0,9	11,75
Linolênico (%)	1,2	-
Araquídico (%)	1,5	2,01

2.9. Oxidação lipídica em óleos vegetais

A oxidação lipídica é um processo espontâneo que compromete a qualidade de óleos e gorduras, resultando na formação de compostos voláteis e produtos secundários responsáveis por alterações indesejáveis de aroma, sabor e cor. Além disso, afeta o valor nutricional e reduz a vida de prateleira dos produtos (CHAN et al., 2020). O mecanismo de oxidação lipídica envolve a interação dos ácidos graxos insaturados com o oxigênio, sendo acelerado pela presença de calor, luz, metais de transição e pela baixa concentração de antioxidantes naturais. Esse processo resulta na formação de radicais livres, que desencadeiam reações em cadeia, produzindo hidroperóxidos primários, que podem se decompor em aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos e outros compostos voláteis e não voláteis, responsáveis por alterações sensoriais, nutricionais e tecnológicas nos lipídios.

2.10. Estabilidade Oxidativa de Óleos Vegetais

A estabilidade oxidativa é uma das propriedades mais relevantes na avaliação da qualidade de óleos vegetais, especialmente quando se considera sua aplicação na alimentação humana. Esse parâmetro está diretamente relacionado à resistência dos óleos à degradação oxidativa, que ocorre em contato com fatores como luz, oxigênio e calor (SILVA et al., 2015).

Durante o processo de oxidação lipídica, ocorrem reações em cadeia que resultam na formação de hidroperóxidos, aldeídos, cetonas e outros compostos secundários responsáveis por alterações sensoriais, nutricionais e funcionais dos óleos. Tais

alterações impactam negativamente tanto o sabor quanto o valor nutricional dos produtos alimentícios (GUTIERREZ; SÁNCHEZ, 2006).

No caso específico do óleo da polpa do tucumã, estudos têm demonstrado que a presença significativa de ácidos graxos monoinsaturados e antioxidantes naturais pode conferir uma estabilidade oxidativa moderada, permitindo sua utilização tanto em alimentos quanto em formulações cosméticas (LIMA et al., 2013; SILVEIRA, 2017). No entanto, as condições de armazenamento e o processo de extração ainda exercem papel importante sobre a durabilidade e a estabilidade final do produto (CORTEZ; GUEDES, 2012).

Dessa forma, a compreensão da estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa do tucumã é essencial para validar seu uso na indústria alimentícia e para garantir sua qualidade e segurança ao consumidor final.

2.11. Fatores que influenciam a estabilidade oxidativa

Diversos fatores influenciam a estabilidade oxidativa dos óleos vegetais, entre eles: a composição de ácidos graxos (quanto maior a proporção de ácidos graxos insaturados, menor a estabilidade), a presença de antioxidantes naturais (como tocoferóis e compostos fenólicos), e o teor de peróxidos e ácidos graxos livres (FRANKEL, 2010), condições de armazenamento e processos de extração. No caso do tucumã, a presença desses antioxidantes naturais contribui como barreira natural contra a oxidação, mas o grau de insaturação lipídica pode acelerar o processo de degradação (ABREU et al., 2020).

2.12. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa

A avaliação da estabilidade oxidativa pode ser realizada por meio de diversos métodos dentre indiretos e diretos, entre os quais se destacam: o teste Rancimat, que baseia-se na condução de substâncias voláteis geradas pela oxidação para um meio aquoso, monitorando o aumento da condutividade elétrica ao longo do tempo; o Oxitest que avalia a redução da pressão parcial de oxigênio dentro da câmara de reação, em função do consumo de oxigênio pela amostra sob condições controladas de temperatura e pressão; a determinação do índice de peróxido, que quantifica os produtos primários da oxidação; e o índice de acidez, que avalia a presença de ácidos graxos livres (ANVISA, 2010; COSTA et al., 2018).

Estudos comparativos indicam que ambos métodos são úteis, mas podem fornecer valores distintos de período de indução, sendo recomendada a interpretação conjunta dos resultados (PONTES et al., 2021).

2.13. Potencial nutricional e tecnológico do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

O tucumã é uma palmeira amazônica cuja polpa e amêndoa fornecem óleos com elevado teor de compostos bioativos, incluindo carotenoides e tocoferóis, associados a benefícios à saúde e ação antioxidante (PINTO; MANCINI-FILHO, 2021). O óleo da polpa caracteriza-se por coloração alaranjada intensa, reflexo do alto teor de pigmentos, mas apresenta maior suscetibilidade à oxidação devido à predominância de ácidos graxos insaturados. Por outro lado, o óleo da amêndoa, embora mais pobre em carotenoides, contém maior proporção de ácidos graxos saturados, o que confere maior estabilidade oxidativa (SOUZA et al., 2007).

2.14. Perspectivas de aplicação

O tucumã é fonte natural de carotenoides, tocoferóis e ácidos graxos monoinsaturados, compostos que conferem ação antioxidante e diversos benefícios à saúde (PINTO & MANCINI-FILHO, 2021). O óleo extraído da polpa e da amêndoa apresenta potencial para aplicações em produtos alimentares funcionais, podendo ser incorporado em margarinas, molhos, suplementos nutricionais e alimentos fortificados para aumentar o teor de antioxidantes e melhorar o perfil lipídico. Na cosmética, o óleo pode ser utilizado em cremes, loções e produtos capilares devido à sua capacidade de hidratação e proteção antioxidante da pele e dos cabelos. Em biotecnologia e indústria, o óleo de tucumã pode servir como matéria-prima para formulações de cápsulas, bioemulsões e veículos lipídicos para micronutrientes sensíveis à oxidação.

A caracterização da estabilidade oxidativa desses óleos fornece informações essenciais sobre a vida útil e segurança dos produtos, permitindo definir condições de processamento, armazenamento e formulação que preservem suas propriedades funcionais. Dessa forma, o estudo da estabilidade contribui para a valorização econômica da biodiversidade amazônica, promovendo o aproveitamento sustentável de um recurso natural e ampliando suas aplicações em diferentes setores industriais.

REFERÊNCIAS

ABREU, L. F.; CARDOSO, T. N.; DANTAS, K. das G. F.; OLIVEIRA, M. do S. P. de. Prospecção e quantificação de carotenoides em frutos de tucumã-do-pará. *Embrapa Amazônia Oriental*, Belém, PA, 2020. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 139). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1119582?locale=es>.

Acesso em: 6 set. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Requisitos sanitários para óleos e gorduras vegetais. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC Nº 270, de 22 DE Setembro de 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Regulamento técnico sobre óleos vegetais: parâmetros de qualidade. Brasília: ANVISA, 2010.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal- RDC nº 481, de 15 de Março de 2021.

ALVES, R. E. et al. *Composição centesimal e compostos bioativos em frutos de palmeiras amazônicas*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2020.

AZEVEDO, S. C. M. de; ALMEIDA, R. M. de; SILVA, L. H. M. da. Estudo da conservação das propriedades nutricionais da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) *in natura* em embalagens a vácuo. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 20, e2016107, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/JP43hQ54yFd8cMntBckYnVM/>.

BAKER, W. J. et al. Beyond Genera Palmarum: progress and prospects in palm systematics. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 192, n. 3, p. 323-348, 2019.

BARBOSA, B. S, et al. Aproveitamento do óleo de tucumã na produção de Biodiesel. Jornada de Iniciação Científica- PIBIC/CNPq/FAPEAM/INPA, Manaus, 2007.

BARBOSA, W. C. et al. Potencial socioeconômico de palmeiras amazônicas: da biodiversidade à inovação tecnológica. **Journal of Applied Amazonian Science**, v. 11, n. 2, p. 45-58, 2021.

CARRERO, C. G. et al. Árvores do Sul do Amazonas: guia de espécies de interesse econômico e ecológico- IDESAM, 2ª. edição. Manaus, 2017.p. 36-37.

CARVALHO, D. R. et al. Uso tradicional de palmeiras amazônicas por comunidades ribeirinhas. *Acta Amazonica*, v. 51, n. 1, p. 12–23, 2021.

CHAN, S. H. et al. Lipid oxidation in edible oils: mechanisms, consequences and prevention. *Food Chemistry*, v. 315, p. 126–142, 2020.

CORTEZ, A. V.; GUEDES, N. Avaliação da qualidade e estabilidade físico-química de óleos fixos de espécies oleaginosas da Amazônia e suas aplicabilidades em produtos cosméticos. *Relatório técnico final*, Universidade Federal do Amazonas, 2012.

COSTA, J. A. da; LEEUWEN, M. de; COSTA, R. C. da. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare Mart.*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 3, p. 387-390, 2005.

COSTA, J. R.; LEEUWEN, J.; COSTA, J. A. Tucumã do Amazonas: *Astrocaryum Martinus*. In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Belém: CIFOR & Iamazon, 2005. cap. 2, p. 211-310.

COSTA, J. S. et al. Estudo da estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizando o teste Rancimat. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 20, n. 2, p. 169–176, 2018.

DIDONET, A. A. et al. Characterization of Amount and Quality of Tucuman Kernel Oil as a Potential Biomass. *J Am Oil Chem Soc*,v. 97, n. 9, p 955-962, 2020.

DRANSFIELD, J. et al. *Genera Palmarum: the evolution and classification of palms*. Richmond: Kew Publishing, 2008.

FERREIRA, E. S. et al. Caracterização físico-química do fruto e do óleo extraído de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart). **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 4, p. 427–433, 2008.

FERREIRA, L. R.; SILVA, A. R.; COSTA, M. G. Caracterização físico-química do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) da Amazônia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 2, p. 345–352, 2008.

FERREIRA, M. J. A. Desacidificação por extração líquido-líquido do óleo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e microencapsulamento em “spray dryer”, 2019. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FRANKEL, E. N. Lipid oxidation. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. 486 p.

GUTIERREZ, F.; SÁNCHEZ, C. M. Oxidative stability of virgin olive oil. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 108, n. 2, p. 107–113, 2006.

HENDERSON, A. et al. *Field guide to the palms of the Americas*. Princeton: Princeton University Press, 2011.

LEITÃO, M. F. de S. Aspectos nutricionais, químicos e farmacológicos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, n. 4, p. 509-516, 2008.

LEITÃO, A. M. Caracterização morfológica e físico-química de frutos e sementes de *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae), de uma floresta secundária. 2008. 91 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia /Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

LIMA, C. R. R. C. Identificação de ácidos graxos presentes no óleo de Castanha do Brasil em emulsões cosméticas, 2009. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LIMA, E. R. et al. Determinação de parâmetros físico-químicos em amostras de óleo fixos: estudo de caso para certificação da cadeia produtiva na Amazônia. Sociedade Brasileira de Química (SBQ)-36° reunião anual, 2013.

MATOS, P. R. R. Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MELO, S. R. Potencial do óleo da amêndoa do tucumã como óleo combustível. 2014. 33f. Relatório final PIB-E-0231/2013- Universidade Federal do Amazonas/ Departamento de apoio a pesquisa- Programa Institucional de Iniciação Científica. Humaitá, 2014.

MELO, P. C. Study of the chemical composition of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) from the Amazon. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 1, p. 65–72, 2014.

MELO, M. P. et al. Oxidação lipídica em óleos vegetais: mecanismos, consequências e estratégias de controle. **Food Research International**, v. 116, p. 1225-1235, 2019.

MENEZES, R. S. C. et al. Potencial de óleos e fibras de palmeiras para aplicações industriais. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 26, n. 4, p. 55-64, 2020

MORAIS, L. R. B.; GUTJAHR, E. Química de Oleaginosas: Valorização da Biodiversidade Amazônica, Ed. do Autor. Belém, PA. 2009.

MORAES, J.; GUTJAHR, F. Características do tucumã (*Astrocaryum aculeatum*): análise nutricional e potencial tecnológico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 52, n. 4, p. 201–210, 2009.

OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, L. P.; PEREIRA, T. L. Amazonian oils: bioactive compounds and industrial applications. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 7, p. 2381–2394, 2021.

OLIVEIRA, M. S. P. et al. Chemical profile and functional properties of *Astrocaryum aculeatum* fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, e89221, 2022.

PERCOPE, P.; SANTOS, F.; SILVA, D. Biodiversidade amazônica e conservação ambiental: desafios atuais. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 13, n. 1, p. 10–22, 2015.

PEREIRA, M. C. et al. Tropical palm oils: composition, properties and applications. **Journal of Food Biochemistry**, v. 45, n. 2, e13562, 2021.

PEREIRA, L. M.; OLIVEIRA, M. C.; COSTA, R. C. da. Propriedades físico-químicas, nutricionais e antioxidantes da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 42, n. 1, p. e-2020107, 2021.

PINTO, A. C. Q.; MANCINI-FILHO, J. Composição e propriedades funcionais de óleos de frutos da Amazônia: potencial nutricional e tecnológico. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, e2020204, 2021.

PONTES, T. R. et al. Accelerated methods for predicting the oxidative stability of vegetable oils: comparison between Rancimat and Oxitest. **Food Analytical Methods**, v. 14, p. 1120–1130, 2021.

SANTOS, F. G.; LIMA, R. A. A.; SOUZA, F. G. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Revista Educamazônia**, v. 12, n. 23, p. 2021

SANTOS, H. F.; MORAES, R. C.; ALMEIDA, J. C. Propriedades físico-químicas de óleos vegetais amazônicos. **Revista Brasileira de Produtos Naturais**, v. 17, n. 3, p. 101–110, 2015.

SARAIVA, R. P. Potencial econômico de oleaginosas amazônicas. **Revista Brasileira de Plantas Oleaginosas**, v. 5, n. 2, p. 25–33, 2008.

SARAIVA, S. A. Caracterização de Matérias-Primas e Produtos Derivados de Origem Graxa por Espectrometria de Massas. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SILVA, A. C. da et al. Avaliação da estabilidade oxidativa de óleos vegetais com diferentes teores de tocoferóis. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 74, n. 4, p. 360–366, 2015.

SILVA, C. A. et al. Importância socioeconômica das palmeiras amazônicas para comunidades tradicionais. **Revista de Ciências Sociais da Amazônia**, v. 10, n. 2, p. 77-89, 2019.

SILVA, L. H. M. da; ALMEIDA, R. M. de; AZEVEDO, S. C. M. de. Propriedades e potencialidades de fontes amazônicas oleaginosas: tucumã e pracaxi. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 43, n. 1, p. 1-10, 2019.

SILVEIRA, E. C. Caracterização físico-química e perfil de ácidos graxos de óleos exóticos da Amazônia. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

SILVEIRA, T. C. Óleos exóticos da Amazônia: caracterização físico-química e propriedades funcionais. 2017. 72 f. Dissertação (Mestre em Produção Vegetal)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes-RJ, 2017.

SIMÕES, D. L. V. Composição nutricional e elaboração do biscoito e da barra de cereal do fruto de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) 2010. 59 f. Dissertação (Mestre em Tecnologia e Segurança Alimentar). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.

SIMÕES, M. A. Características sensoriais e composição nutricional de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 46, n. 2, p. 271-278, 2010.

SIMÕES, R. J. Composição e propriedades do óleo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). **Revista de Ciências da Amazônia**, v. 4, n. 2, p. 45–52, 2010.

SOUZA, A. L. R.; SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA NETO, M. A. Caracterização físico-química dos óleos da polpa e da amêndoa de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 472-476, 2007.

SOUZA, J. R. et al. Aplicações industriais de fibras e óleos de palmeiras brasileiras. **Industrial Crops and Products**, v. 183, 114989, 2022.

SOUSA, M. L.; LIMA, R. S.; PEREIRA, A. Composição química e propriedades antioxidantes de óleos vegetais amazônicos. **Food Chemistry**, v. 370, p. 131–141, 2022.

TOMLINSON, P. B. *The uniqueness of palms*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 151, n. 1, p. 5-14, 2006.

VAN DUYN, M. A. S.; PIVONKA, E. Nutritional and health benefits of carotenoids. **Journal of Nutrition**, v. 130, n. 3, p. 711–714, 2000.

VASCONCELOS, B. E. C. Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais dos óleos do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* e *Astrocaryum vulgare*) obtidos com CO₂ pressurizado. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PANTOJA, N. V. Caracterização físico-química e espectroscópica do óleo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum Meyer*) visando aplicações nanobiotecnológicas. 2013, 81 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2013.

PESCE, C. Arecaceae. In: VIEIRA, I. C. G. V.; GABAS JÚNIO, N.; RODRIGUES, N. (Coord.) / Silva, I; Botelho, A.(Edit). Oleaginosas da Amazônia. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. , Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural, 2ª. edição., rev. e atual , p.45-56, 2009.

Pontes, T. S.; Almeida, D. T.; Maciel, L. F. *Evaluation of accelerated oxidation methods for vegetable oils rich in bioactive compounds*. **LWT - Food Science Technology** 2021, 141, 110919.

TANDY, D. C. Oilseed extraction. In: WAN, P. J. Introduction to fats and oils technology. Champaign, Illinois: **American il Chemists' Society**, 1991.

YUYAMA, L. K. O. et al. Processamento e avaliação da vida-de-prateleira do tucumã (*Astrocaryum_aculeatum_Meyer*) desidratado e pulverizado. **Ciência e Tecnologia em Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 408–412, 2008.

YUYAMA, L. K. O et al., Polpa e casca de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer): quais os constituintes nutricionais? Nutrire: **Revista Sociedade Brasileira de Alimentos Nutrição.**, v.30, supl., p. 332, 2005.

ZENINETTI, R. A. Z. et al. Variabilidade populacional na produção de óleo, lipídios totais na amêndoa e polpa de tucumã coletados no estado do Acre. *Agrotrópica*, v. 28, n 2, p.179 – 184, 2016.

ZANINETTI, R.; LIMA, F.; COSTA, E. Avaliação da estabilidade oxidativa de óleos amazônicos. **Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 201–210, 2021.7

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

- Estudar a estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa do tucumã e seu potencial de aplicação.

3.2. Objetivos específicos

- Extrair os óleos da polpa e da amêndoa do tucumã por prensagem mecânica, determinando o rendimento de cada fração.
- Caracterizar os óleos obtidos quanto aos parâmetros físicos e químicos (índices de acidez, peróxido, iodo e saponificação), conforme metodologias oficiais da AOAC.
- Quantificar o teor de carotenoides totais presentes nos óleos, relacionando-os à coloração e ao potencial antioxidante natural.
- Avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos da polpa e da amêndoa por meio do ensaio acelerado de oxidação (rancimat), sob condições controladas de temperatura e fluxo de ar.
- Comparar estatisticamente os resultados obtidos entre os óleos, identificando diferenças significativas na composição e na estabilidade oxidativa.
- Discutir o potencial de aplicação alimentar dos óleos analisados, considerando suas propriedades físicas e químicas, estabilidade e conformidade com os padrões da Anvisa para óleos comestíveis.

DISSERTAÇÃO NO FORMATO DE ARTIGO

“Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) para Aplicação em Alimentos”

Inga Maria Jeremias^{1}, Eliana Janet Sanjinez Argandoña^{1*}, Leandro levate Macedo¹*

¹Universidade Federal da Grande Dourados

**Laboratório do Grupo de Estudos e Pesquisa de Produtos Agroindustriais do Cerrado (LabGEPPAC), Dourados, MS 79804-970, Brasil*

4. MANUSCRITOS

- 4.1. **Manuscrito I** – Caracterização Física, Química e Nutricional da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*).

Caracterização Física, Química e Nutricional da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*)

Resumo

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), fruto nativo da região amazônica pertencente à família Arecaceae, permanece pouco explorado quanto à sua caracterização física, química e nutricional. Este estudo teve como objetivo caracterizar a composição proximal da polpa e da amêndoa do fruto, visando ampliar seu potencial de aproveitamento na cadeia produtiva de alimentos. Foram determinados umidade, cinzas, proteínas, lipídios, fibras, carboidratos, valor energético, acidez titulável, pH e carotenoides totais. A polpa apresentou elevado teor lipídico (32,02 g/100 g), alto conteúdo de fibras (15,1 g/100 g) e carotenoides totais (62 µg/g), resultando em valor energético de 322,26 kcal/100 g e pH ligeiramente ácido (5,11). A amêndoa apresentou menor umidade (33,18 g/100 g), maior teor proteico (5,86 g/100 g) e teor lipídico de 18,47 g/100 g, com valor energético de 208,27 kcal/100 g e pH próximo à neutralidade (6,09). Os resultados evidenciam o elevado valor nutricional do tucumã e destacam diferenças composicionais relevantes entre polpa e amêndoa, reforçando seu potencial para aplicações alimentares e desenvolvimento de produtos derivados.

Palavras-chave: composição centesimal; fruto amazônico; propriedades físico-químicas; potencial alimentar.

1 INTRODUÇÃO

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) é uma palmeira nativa da região amazônica, amplamente distribuída nos estados do Amazonas, Pará, Acre e Rondônia. Reconhecido pela polpa de coloração alaranjada intensa e sabor característico, o fruto possui grande importância cultural e econômica para as comunidades locais, sendo componente essencial da dieta e da culinária regional. Sua popularidade se reflete no consumo tradicional, seja *in natura*, em recheios de tapiocas, cremes e sorvetes (Yuyama et al., 2008), ou como ingrediente principal do X-Caboquinho, um sanduíche típico de Manaus que valoriza os sabores autênticos da Amazônia (Costa et al., 2005). Tal uso tradicional evidencia o valor nutricional do tucumã, com estudos

que destacam a riqueza lipídica presente em sua polpa (Yuyama et al., 2003; Rodrigues et al., 2015).

Apesar da importância cultural e nutricional consolidada, o tucumã ainda é uma espécie pouco explorada quanto ao seu potencial nutricional, composição química e aplicações industriais. Além disso, trabalhos sobre a amêndoa de *A. aculeatum* ainda são escassos, limitando comparações consistentes, sendo que a maioria das referências disponíveis utiliza partes do fruto de *Astrocaryum vulgare*. Nesse contexto, a caracterização detalhada da composição da polpa e da amêndoa é fundamental para que, além do consumo tradicional, o fruto possa ser utilizado como matéria-prima para o desenvolvimento de produtos inovadores e de maior valor agregado.

O conhecimento da composição da polpa e da amêndoa do tucumã auxilia no direcionamento de processos tecnológicos. A elevada concentração lipídica na polpa, que pode variar entre 33% e 47,5% em massa seca, e o teor de óleo na amêndoa, entre 30% e 36% (Ferreira et al., 2008), posicionam o tucumã como uma fonte promissora de óleos com características comparáveis, e por vezes superiores, às de óleos comerciais, como o óleo de palma. Essa riqueza lipídica confere ao fruto alto valor energético e indica a presença de ácidos graxos específicos e outros compostos bioativos lipossolúveis de interesse funcional.

Diante das diferenças entre suas partes comestíveis e do potencial para aplicação no setor alimentício, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição nutricional da polpa e da amêndoa do tucumã, destacando sua relevância como matéria-prima promissora para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios e reforçando a necessidade de estudos específicos sobre a amêndoa desta espécie.

2 MÉTODOS

2.1 Matéria-prima e preparo das amostras

Os frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), provenientes de extrativismo, foram adquiridos em Manaus, Amazonas, e enviados via SEDEX. Após o recebimento, os frutos foram selecionados quanto à integridade e estágio de maturação. Os frutos não maduros foram submetidos ao processo de abafamento, sendo acondicionados em sacos plásticos pretos e mantidos ao abrigo da luz, a fim de completar o

amadurecimento. Em seguida, foram lavados com água corrente e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio (100 mg/L).

Os frutos foram agrupados por tamanho (pequenos, médios e grandes), e 36 frutos, selecionados aleatoriamente entre os três grupos, foram usados para biometria, rendimento e análises de composição proximal. Posteriormente, realizou-se a separação manual das frações: casca (epicarpo), polpa (mesocarpo) e amêndoa (endocarpo). Após a separação, as análises foram realizadas no material *in natura* e, em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno (PE) e armazenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a execução das demais análises. Todos os reagentes utilizados eram de grau analítico P.A.

2.2 Morfometria e rendimento do fruto do tucumã

Foram realizadas aferições dos diâmetros longitudinais e transversais dos frutos, com auxílio de paquímetro de marca LOTUS PLUS, com precisão de 0,01 mm. O diâmetro longitudinal foi medido a partir do ápice a base do fruto. A medida do diâmetro transversal foi registrada a partir do ponto de maior diâmetro do fruto. A determinação da massa dos frutos e de suas frações epicarpo (casca), mesocarpo (polpa) e endocarpo (amêndoa) foi realizada em balança digital de precisão de marca EXACTA, após o despulpamento manual com auxílio de faca de aço inoxidável.

O rendimento foi determinado considerando a massa de cada fração do fruto e a massa do fruto inteiro, conforme Equação 1:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Massa da fração do fruto}}{\text{Massa do fruto inteiro}} \times 100 \quad (1)$$

2.3. Cor do mesocarpo

A determinação da cor foi realizada em colorímetro (KONICA MINOLTA, INC. Modelo CHROMA METER CR-400), previamente calibrado com placa de cor branca, com luminante D65 e ângulo de observação de 10° . As leituras foram realizadas no mesocarpo do fruto *in natura* com 10 repetições, em pontos equidistantes. Foi adotado o sistema CIE Lab, em que: L*(claridade) compreende valores de 0 (preto) a 100 (branco); a* inclui valores que vão de positivo (vermelho) a negativo (verde); e b* com valores positivos para amarelo ou negativos para azul.

O croma (C^*), que indica a saturação ou intensidade da cor, foi calculado conforme a Equação 2:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

O ângulo Hue (h°), correspondente à aparência visual da cor, foi calculado conforme Equação 3:

$$h^\circ = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (3)$$

em que 0° ou 360° correspondem às cores vermelho-roxo, 90° ao amarelo, 180° ao verde e 270° ao azul (McGuire, 1992).

2.4 Composição centesimal do mesocarpo e endocarpo do tucumã

A umidade das amostras foi determinada pelo método gravimétrico, utilizando secagem em estufa a 105°C até obtenção de peso constante, conforme descrito por AOAC (2005). O teor de resíduo mineral fixo (RMF) foi obtido por incineração em mufla a 550°C , de acordo com procedimentos padronizados pela mesma referência. O teor de proteínas foi calculado com base nos dados da determinação do teor de nitrogênio, pelo método Kjeldahl (1883), com conversão por meio do fator 5,75, referente às proteínas de origem vegetal (A.O.A.C., 1998). O conteúdo de lipídios foi obtido por extração a frio, utilizando clorofórmio e metanol como solventes, de acordo com o método de Bligh e Dyer (1959). Os teores de carboidratos foram determinados pela quantificação do amido via hidrólise química e física, utilizando aparelho ebuliostático REDUTEC (TECNAL, TE-088), conforme Carvalho et al. (2002); e o valor energético, calculado com base nos fatores de Atwater: 9 kcal/g para lipídios e 4 kcal/g para proteínas e carboidratos (Osborne; Voogt, 1978).

2.5 pH, acidez titulável e carotenoides totais

Para determinação do pH, 1g da amostra *in natura* foi diluída em 10 mL de água e homogeneizada, sendo a medida realizada com pHmetro previamente calibrado (Tecnal, Tec-7). A acidez titulável foi obtida por titulação com NaOH 0,1 N (AOAC, 1998). A quantificação de carotenoides seguiu o método de Rutz et al. (2017), com adaptações: 100 mg da amostra foram macerados, extraídos com acetona e centrifugados a 11.000 rpm por 15 min (Rotanta 460, Hettich, Alemanha). Em seguida, 0,1 g do sobrenadante foi diluído em balão volumétrico de 25 mL com éter de petróleo,

e a absorvância foi medida a 450 nm em espectrofotômetro (Libra S60PC, Biochrom, Inglaterra), permitindo calcular a concentração de carotenoides a partir da absorvância, utilizando a Equação 4.

$$C (\mu g/g) = \frac{A \times V \times 100}{\epsilon \times m} \quad (4)$$

onde C é a concentração de carotenoides na amostra, A a absorvância, V o volume do extrato, ϵ o coeficiente de extinção molar do β -caroteno = 2592 em éter de petróleo (Isler et al., 1956).

2.6 Análise estatística

Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão, e as diferenças entre as médias das três frações (casca, polpa e amêndoa) foram avaliadas por Análise de Variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software Statistica® 12.0 (StatSoft Inc., EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Morfometria e rendimento do fruto do tucumã

Os parâmetros morfométricos do fruto de tucumã indicam frutos de formato subgloboso a elipsóide, consistentes com descrições da espécie (Tabela 1). O peso médio do fruto situou-se entre os valores reportados na literatura (Leitão, 2008; Dionísio et al., 2018), sugerindo variações relacionadas à maturação, origem regional ou tamanho dos frutos estudados. As dimensões longitudinais e transversais confirmam o formato do fruto, enquanto a análise da massa das frações evidencia que o endocarpo constitui a maior proporção do fruto, seguido pelo mesocarpo e pelo epicarpo. Essa distribuição percentual das frações indica a predominância da semente e da polpa na composição total, com implicações diretas para extração de óleo, caracterização química e aproveitamento industrial. Os resultados observados mostraram boa concordância com estudos anteriores, embora algumas divergências nos valores absolutos reflitam diferenças metodológicas ou na seleção dos frutos, como maturidade ou procedência geográfica.

Tabela 1 - Aspectos morfométricos e rendimento do fruto de *A. aculeatum*

Parâmetros	Médias	Leitão (2008)	Dionísio et al. (2018)
Fruto inteiro (g)*	49,11±17,34	47,44	57,54
Diâmetro longitudinal (mm)*	44,0±0,78	44,84	50,14
Diâmetro transversal (mm)*	39,7±0,50	42,53	n.d
Mesocarpo (g)**	8,98	9,13	19,85
Epicarpo (g)**	6,16	7,67	50,14
Endocarpo (g)**	29,12	30,01	29,70
Mesocarpo (%)	18,29	19,25***	34,50***
Epicarpo (%)	12,50	16,17***	13,90***
Endocarpo (%)	59,30	63,26***	51,62***

*Valor médio analisado de 300 unidades de fruto. ** Valor médio analisado de 36 unidades de fruto

n.d = valor não determinado. ***Valores calculados neste trabalho

Esses valores reforçam que a maior parte do fruto é composta pelo endocarpo, enquanto o mesocarpo, embora menos volumoso, concentra os compostos de interesse nutricional, como lipídios e carotenoides.

As diferenças observadas entre estudos podem ser atribuídas a fatores como estágio de maturação dos frutos, condições ambientais, procedência geográfica e métodos de medição.

3.2 Cor do Mesocarpo

Os parâmetros de cor do mesocarpo do tucumã (Tabela 2) mostraram valores de L*, a* e b*, seguidos dos valores correspondentes a C e h°. Esses resultados indicam uma polpa de tonalidade amarela intensa e elevado brilho, com leve tendência avermelhada. O valor elevado de b* e o Chroma alto refletem a presença de carotenoides, principalmente β-caroteno. Valores de b* acima de 60 são encontrados em frutos tropicais maduros e ricos em carotenoides, sendo influenciados pelo grau de maturação, homogeneidade da amostra e condições de medição padronizadas no sistema CIE Lab*, com iluminação D65.

Tabela 2 - Parâmetros de cor do mesocarpo dos frutos de tucumã

Parâmetro	Mesocarpo
L*	65,96 ± 0,1
a*	26,68 ± 0,1
b*	66,82 ± 0,2
C*	71,98 ± 0,1
h°	68,14 ± 0,1

L* = luminosidade; a*= componente vermelho-verde; b*=componente amarelo-azul; C=intensidade da cor (chroma); H=ângulo de matiz (hue angle). Valores expressos como média ± desvio padrão (n=10).

Esses resultados corroboram estudos anteriores que associam a intensidade da coloração amarela à concentração de carotenoides, reforçando a relevância desse parâmetro como indicador da qualidade sensorial e do potencial nutricional do tucumã (Yuyama et al., 2008; Rutz et al., 2017).

Segundo Elias (2011), a maturação de frutos de tucumã pode ser verificada pela cor do mesocarpo amarelo ou laranja-escuro. Além disso, Flor (2013), na avaliação de cor da polpa de tucumã da mesma espécie, encontrou valores semelhantes aos deste estudo, para os três parâmetros (L*=63,95; a*=30,79 e b*=69,89).

Diferenças de cor entre frutos da mesma espécie também foram relatadas por Sanjinez-Argandoña e Chuba (2011), que analisaram a cor do fruto de palmeira bocaiúva (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd) de duas procedências. Em amostras de Presidente Epitácio - SP, os parâmetros de cor foram menores para b* (51,95) e L* (70,66) e maiores para a* (35,39), quando comparados às amostras procedentes de Dourados - MS (a*=30,74; b* = 63,26; L* = 77,08). Estes resultados revelam a complexidade no processo de amadurecimento dos frutos, pois essa condição pode influenciar nas propriedades físicas e nos compostos funcionais ou bioativos, refletida também nos valores de Chroma e Hue.

3.3 Caracterização química do mesocarpo e endocarpo de tucumã

3.3.1. Composição química e nutricional da polpa do tucumã

Os resultados das análises químicas da polpa do tucumã estão apresentados na Tabela 3, oferecendo uma visão detalhada da composição do mesocarpo e permitindo comparações com estudos anteriores, evidenciando seu potencial nutricional e tecnológico. A caracterização da polpa indicou elevada umidade, valor próximo aos observados por Maia et al. (2014) e Nascimento et al. (2024), confirmando a predominância de água, característica típica de frutos tropicais frescos.

Tabela 3 - Composição química e nutricional da polpa do tucumã

Análises	Polpa	Maia et al., 2014	Nascimento et al., 2024
Umidade (g/100g)	55,4±0,45	55,2	55,64
Cinzas (g/100g)	2,01±0,02	–	–
Proteínas (g/100g)	2,16±0,03	–	2,36
Lipídios (g/100g)	32,02±0,31	32,5	32,71
Fibras (g/100g)	15,1±0,25	15,3	–
Carboidratos (g/100g)	6,36±0,01	6,5	6,08
V. Energético (kcal/100g)	322,26	–	–
Acidez (g/100g)	0,51±0,03	–	0,42
pH	5,11±0,01	–	5,11
Carotenoides (µg/g)	62±0,4	60	63,4

As análises foram realizadas em triplicata (n=3), e os resultados estão expressos em média ± desvio padrão (DP).

O teor de lipídios reforça o potencial energético da polpa e sua relevância como fonte de óleo natural, aproximando-se dos valores reportados por Maia et al. (2014) e Nascimento et al. (2024), e é comparável a outros vegetais reconhecidos pelo alto teor lipídico, como soja e abacate. As fibras totais apresentaram valores similares aos de Maia et al. (2014), contribuindo para a regulação intestinal e controle glicêmico, enquanto as proteínas aproximaram-se das observações de Nascimento et al. (2024), desempenhando papel importante na manutenção e reparo de tecidos.

O conteúdo de β-caroteno, assim como outros compostos bioativos presentes na polpa, apresentou valores próximos aos de Maia et al. (2014) e Nascimento et al.

(2024), destacando seu efeito antioxidante e função como precursor da vitamina A, essencial para a visão, integridade da pele e função imunológica. Esses resultados reforçam a polpa do tucumã como alimento funcional, com relevância nutricional e tecnológica.

Em síntese, a composição química da polpa do *Astrocaryum aculeatum* evidencia seu potencial funcional e energético, reforçando sua importância tanto para a alimentação humana quanto para o processamento industrial, e confirma a presença de compostos bioativos que podem contribuir para a saúde e bem-estar do organismo.

3.3.2 Composição química da amêndoa do tucumã.

A composição química da amêndoa do tucumã encontra-se apresentada na Tabela 4. O teor de umidade observado neste estudo mostrou-se semelhante ao relatado por Luciedry (2022), indicando concordância entre os trabalhos quando analisado o material fresco.

Tabela 4 - Composição química da amêndoa do tucumã.

Análises	Amêndoa	Luciedry (2022)
Umidade (g/100g)*	33,18±0,21	35,93±2,06
Cinzas (g/100g)	1,01±0,01	1,03±0,03
Proteínas (g/100g)	5,86±0,08	7,03±0,15
Lipídios (g/100g)	18,47±0,72	34,83±0,34
Fibras (g/100g)	40,46±0,6	-
Carboidratos (g/100g)	4,65±0,01	21,18**
Valor Energético (kcal)	208,27	-
Acidez (g/100g)	0,50±0,01	-
pH	6,09±0,28	-
Carotenoides (µg/g)	2,3±0,03	-

As análises foram realizadas em triplicata (n=3), e os resultados estão expressos em média ± desvio padrão (dp). *Amêndoa fresca. **Valor obtido por diferença do somatório dos demais nutrientes.

O teor de cinzas apresentou valor próximo ao encontrado por Luciedry (2022), confirmando que a amêndoa contém quantidade relevante de minerais e

evidenciando seu potencial como ingrediente nutritivo. A proteína total foi inferior à reportada por Luciedry (2022), sugerindo que, embora a amêndoa seja uma fonte de proteínas, existe variabilidade entre estudos, possivelmente relacionada à maturação do fruto ou à técnica de extração da amêndoa. Os lipídios representaram cerca de metade do valor encontrado por Luciedry (2022), o que pode refletir diferenças no método de extração e nas condições de secagem, mas confirma que a amêndoa é uma excelente fonte de lipídios, relevante tanto do ponto de vista nutricional quanto tecnológico para formulações alimentícias. O teor de carboidratos encontrado foi expressivamente inferior ao relatado por Luciedry (2022). Essa divergência pode estar associada às diferenças metodológicas: neste estudo, os carboidratos foram determinados a partir da quantificação do amido, obtido após hidrólise e medição dos açúcares redutores liberados, enquanto Luciedry (2022) utilizou cálculo indireto por diferença. Considerando que a amêndoa é naturalmente rica em fibras e lipídios, a escolha do método influencia diretamente a fração de carboidratos reportada, justificando a diferença observada. O valor energético calculado neste estudo, associado ao pH próximo de 6, evidencia características favoráveis para o armazenamento e reforça o potencial da amêndoa para utilização em produtos alimentícios, garantindo estabilidade e qualidade do produto final.

De maneira geral, embora Luciedry (2022) também tenha estudado a amêndoa de *A. aculeatum*, trabalhos sobre essa parte do fruto ainda são escassos, limitando comparações consistentes. A maioria das referências disponíveis utiliza partes do fruto de *Astrocaryum vulgare*, o que destaca a relevância do presente estudo para ampliar o conhecimento sobre a composição dos frutos de *A. aculeatum*, especialmente da amêndoa, evidenciando seu potencial nutricional e funcional.

4 CONCLUSÃO

A caracterização física, química e nutricional da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* evidenciou diferenças composicionais relevantes entre as frações do fruto. A polpa apresentou elevado teor de lipídios (32,02 g/100 g), fibras (15,1 g/100 g) e carotenoides totais (62 µg/g), além de valor energético de 322,26 kcal/100 g e pH levemente ácido (5,11), confirmando seu potencial como ingrediente energético e fonte de compostos bioativos. A amêndoa destacou-se pelo menor teor de umidade (33,18 g/100 g), maior conteúdo proteico (5,86 g/100 g) e teor significativo de fibras

(40,46 g/100 g), além de apresentar valor energético de 208,27 kcal/100 g e pH próximo à neutralidade (6,09). As análises morfométricas demonstraram predominância do endocarpo na constituição do fruto (59,30%), enquanto o mesocarpo representou 18,29%, indicando potencial de aproveitamento integral para fins tecnológicos.

De forma integrada, os resultados confirmam que o tucumã apresenta elevado valor nutricional e composição favorável para aplicações alimentícias e tecnológicas, podendo ser explorado como matéria-prima para formulações energéticas, produtos funcionais e ingredientes naturais, além de representar alternativa sustentável para agregação de valor à biodiversidade amazônica.

REFERÊNCIAS

AOAC (1998) *Official methods of analysis of AOAC International*, 16th ed. Gaithersburg: AOAC International.

AOAC (2005) *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL*, 18th ed. Gaithersburg: AOAC International.

Bligh E.G, Dyer W.J (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol*, 37(8):911–917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>

Carvalho, A. V.; Farias, D. L.; Maciel, L. G.; Chisté, R. C. Nutritional and bioactive compounds of Amazonian fruits and their coproducts: A review. *Food Research International* 2020, 137, 109744. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109744>

Costa, J. R. da; Van Leeuwen, J.; Costa, J. A. Tucumã-do-Amazonas, *Astrocaryum tucuma* Martius. In: Shanley, P.; Medina, G. (Orgs.). Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Belém: CIFOR, Imazon, 2005. p. 215–222.

Dionísio LFS, Smiderle OJ, Souza AL, et al. (2018) Characterization of fruits and seeds of *Astrocaryum aculeatum* G. Mey in northern Amazon, Roraima – Brazil. *Rev Ciênc Agrárias*, 61(3):219–228. <https://www.researchgate.net/publication/327896217>

Elias MEA (2011) Physiological maturation of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) seeds in central Amazonia. Doctoral thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Available

from:
34

<https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/3048/1/TESE%20MARIA%20ELIZABETH%20ODE%20ASSIS%20ELIAS.pdf>

Ferreira, E. S.; Lucien, V. G.; Amaral, A. S.; Silveira, C. S. Caracterização físico-química do fruto e do óleo de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.). *Revista Alimentos e Nutrição*, v. 19, n. 4, p. 427–433, 2008.

Flor, N.S., 2013. Conservação da polpa e elaboração da pasta de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey.). Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Brasil.

Isler O, Gross M, Gross E, et al. (1956) Über die isolierung und identifizierung von lipiden aus tierischen gewebe. *Helv Chim Acta*, 39(6):1861–1867. <https://doi.org/10.1002/hlca.19560390610>

Kjeldahl J (1883) Neue methode zur bestimmung des stickstoffs in organischen körpern. *Z Anal Chem*, 22(1):366–382. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>

Leitão AM (2008) Characterization of fruits and seeds of *Astrocaryum aculeatum* Meyer (Arecaceae) from a secondary forest. Undergraduate thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Available from: <https://www.abq.org.br/cbq/2010/trabalhos/10/10-402-6221.htm>

Luciédry MS, Carvalho AO, Grimaldi R, Souza PT, Batista EAC, Martínez J (2024) Supercritical fluid and pressurized liquid extraction of spent tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) almonds. *J Supercrit Fluids*, 209:106238. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2024.106238>

Maia GC, Silva MM, Silva IQ, et al. (2014) Effects of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) on diet and health. *J Med Food*, 17(7):717–723. <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.0205>

McGuire RG (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12):1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>

Nascimento MC, Silva MM, Almeida MA, et al. (2024) Physical-chemical and functional characterization of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) pulp and flour from three locations in Amazonas state. In: Proceedings of the 1st International Congress

on Functional Foods of Amazon. Manaus: INPA; 2024. Available from: <https://www.even3.com.br/anais/i-ciafa-429463/858946>

Osborne DR, Voogt P (1978) *The analysis of nutrients in foods*. London: Academic Press.

Rodrigues MI, Silva MM, Silva IQ, et al. (2015) Physicochemical composition and antioxidant properties of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) pulp. *Braz J Frut*, 37(4):1015–1022. <https://www.scielo.br/j/rbf/a/7mXy7bJtF7Z4Y7w5s6X5H3/?lang=pt>

Rutz, J. K.; Borges, C. D.; Zambiasi, R. C.; Crizel-Cardozo, M. M., Kuck, L. S.; Noreña, C. P. Microencapsulation of palm oil by complex coacervation for application in food systems. *Food Chem*. 2017, 220, 59-66. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.194

Sanjinez-Argandoña EJ, Chuba CAM (2011) Biometric, physical, and chemical characterization of bocaiúva (*Acrocomia aculeata*) fruits. *Braz J Frut*, 33(3):1023–1028. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000300041>

Yuyama LK, Aguiar JPL, Fávaro DIT, Yuyama K (2003) Chemical composition of tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). *Acta Amazon*, 33(1):53–60.

Yuyama LK, Aguiar JPL, Fávaro DIT, Yuyama K (2008) Processing and shelf-life evaluation of dehydrated and powdered tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer). *Ciênc Tecnol Aliment*, 28(2):408–412.

DISSERTAÇÃO NO FORMATO DE ARTIGO

“Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*) e seu potencial de aplicação”

Inga Maria Jeremias^{1}, Eliana Janet Sanjinez Argandoña^{1*}, Leandro levate Macedo¹, Cláudia Cardoso², Cláudio Teodoro de Carvalho¹*

¹Universidade Federal da Grande Dourados

²Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul

**Laboratório do Grupo de Estudos e Pesquisa de Produtos Agroindustriais do Cerrado (LabGEPPAC), Dourados, MS 79804-970, Brasil*

Manuscrito II – Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*)

Estabilidade Oxidativa dos Óleos Extraídos da Polpa e da Amêndoa do Tucumã (*Astrocaryum Aculeatum*)

RESUMO

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) é um fruto amazônico, cujos óleos extraídos da polpa e da amêndoa se destacam pelo elevado rendimento e pelas propriedades nutricionais, bioativas e tecnológicas. Este estudo avaliou a estabilidade oxidativa e o comportamento térmico dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa do tucumã, por meio de análises físicas e químicas, perfil de ácidos graxos, teor de carotenoides, estabilidade em estufa, Rancimat, % de compostos polares totais (CPT) pelo TESTO e calorimetria exploratória diferencial (DSC). O óleo da polpa apresentou maior grau de insaturação, com predominância de ácido oleico ($\approx 66\%$) e elevado teor de carotenoides ($512,8\mu\text{g/g}$), enquanto o óleo da amêndoa foi caracterizado por alto teor de ácidos graxos saturados ($\approx 91\%$), destacando-se o ácido láurico ($54,2\%$). Após 30 dias de estocagem em estufa, não foram observadas alterações significativas no perfil de ácidos graxos. O óleo da polpa apresentou maior tempo de indução no ensaio Rancimat (20,47 h), indicando maior resistência à oxidação sob condições aceleradas de fluxo de ar e temperatura elevada. Por sua vez, o óleo da amêndoa demonstrou maior resistência à oxidação em estufa e maior estabilidade térmica, conforme evidenciado pelas análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC). Essas diferenças refletem a influência da composição lipídica e da presença de compostos bioativos, bem como as especificidades de cada método analítico, que avaliam distintos mecanismos e estágios do processo oxidativo.

Palavras-chave: *Astrocaryum aculeatum*; óleo vegetal; composição química; carotenoides; ácidos graxos.

1. INTRODUÇÃO

O tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), palmeira nativa da região Amazônica, destaca-se tanto pelo consumo *in natura* quanto pelo aproveitamento tecnológico de seus frutos. A polpa é utilizada na alimentação e apresenta coloração alaranjada característica, atribuída ao elevado teor de carotenoides, especialmente β -caroteno, pigmento com reconhecida atividade pró-vitamínica A e propriedades antioxidantes. A amêndoa, por sua vez, é rica em lipídios de qualidade nutricional, com

predominância de ácidos graxos saturados e monoinsaturados, além de conter tocoferóis e outros compostos bioativos (PINTO et al., 2021). Esse perfil torna o tucumã matéria-prima promissora para aplicação na indústria de alimentos. Apesar do valor nutricional e funcional, a utilização industrial de óleos vegetais está diretamente associada à sua estabilidade durante o processamento e o armazenamento. A oxidação lipídica constitui um dos principais mecanismos de deterioração, resultando em alterações físicas, químicas e sensoriais que comprometem a qualidade e reduzem a vida útil do produto. Essas alterações são relevantes para óleos ricos em ácidos graxos insaturados, como o da polpa do tucumã, mais susceptível à degradação oxidativa (SHAHIDI; ZHONG, 2010).

A estabilidade oxidativa de óleos vegetais não depende apenas da composição lipídica, mas também do teor de compostos antioxidantes, das condições de armazenamento e dos métodos de extração empregados (MANCINI-FILHO et al., 2021). Assim, compreender a cinética de oxidação e os fatores que afetam a estabilidade dos óleos do tucumã é fundamental para consolidar seu potencial de aproveitamento tecnológico.

Diversas metodologias têm sido aplicadas para avaliar a estabilidade oxidativa de óleos e gorduras. Entre elas, destacam-se as análises clássicas, como índices de acidez, iodo e peróxidos, que fornecem informações importantes sobre alterações iniciais e intermediárias do processo oxidativo (RODRIGUES-AMAYA; KIMURA, 2004). Além disso, métodos acelerados, como o Rancimat, permitem estimar a resistência dos óleos à oxidação em condições controladas, fornecendo parâmetros comparativos de estabilidade (CARDOSO et al., 2022).

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade oxidativa dos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento acelerado (50 °C e 85% de umidade relativa) por 30 dias, por meio da determinação dos índices de acidez, iodo, peróxidos, período de indução pelo Rancimat e teor de carotenoides totais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Amostras

Frutos maduros de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) foram adquiridos em um mercado local da cidade de Manaus, Amazonas, recebidos 3 dias após a colheita e processados no mesmo dia. Os frutos foram inicialmente lavados em água corrente e, em seguida, imersos por 15 minutos em solução de hipoclorito de sódio a 1% (aproximadamente 1% de cloro ativo). Posteriormente, realizou-se a separação manual da polpa e da amêndoa para a extração dos óleos. Reagentes de grau analítico PA foram utilizados nas análises de composição e caracterização química.

2.2. Extração dos óleos

Os óleos da polpa e da amêndoa foram extraídos por prensagem mecânica a frio. Inicialmente, as amostras foram desidratadas a 70 °C por 24 horas em desidratador de bandejas construído na instituição. A polpa seca foi triturada em moinho analítico IKA (A11 B S1) e a amêndoa, em processador metálico (SKYMSSEN, Metalúrgica Siemens LTDA.).

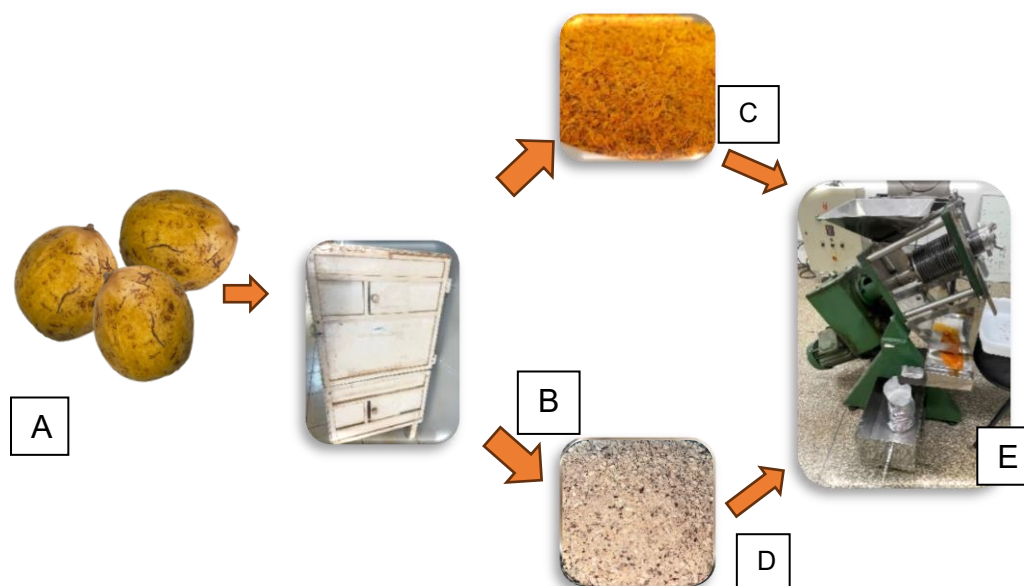


Figura 1 - Etapas de Obtenção do Óleo por Prensagem Mecânica

A) Fruto inteiro do tucumã *in natura*, B) Desidratadora de bandejas C) Polpa desidratada D) Amêndoa desidratada E) Prensa tipo expeller.

Fonte: Acervo pessoal da autora

Em seguida, ambos os materiais foram submetidos à extração utilizando uma prensa mecânica tipo expeller (PEY60, Urso Branco, Paranaíba, Brasil) à temperatura ambiente, obtendo-se os óleos, conforme ilustrado na Figura 8.

O óleo obtido foi centrifugado a 11.000 rpm por 15 minutos (Rotanta 460, Hettich, Tuttlingen, Alemanha) para a remoção de impurezas, acondicionado em frascos de vidro âmbar e armazenado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até as análises.

2.3. Caracterização física e química dos óleos da Polpa e da amêndoa do tucumã.

A caracterização física e química dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* foi realizada com o objetivo de avaliar a qualidade, o estado de conservação e a estabilidade inicial das amostras. Foram determinados parâmetros clássicos amplamente utilizados para a avaliação de óleos vegetais, incluindo teor de umidade, índice de acidez e índice de peróxidos, os quais fornecem informações sobre a presença de água residual, a ocorrência de reações hidrolíticas e o grau de oxidação primária, respectivamente.

As análises foram conduzidas em triplicata, e os resultados expressos como média \pm desvio padrão, garantindo a confiabilidade e a reprodutibilidade dos dados obtidos. Os procedimentos analíticos seguiram metodologias oficiais e/ou amplamente reconhecidas na literatura para análise de óleos e gorduras, assegurando a comparabilidade dos resultados com estudos previamente reportados.

2.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* foi determinado com a finalidade de avaliar a presença de água residual nas amostras, fator que pode influenciar negativamente a estabilidade e a qualidade do óleo. A análise foi realizada por método gravimétrico, baseado na perda de massa após aquecimento controlado, conforme metodologia oficial para óleos e gorduras, sendo realizada por aquecimento direto a 105°C . O intervalo de tempo de pesagem foi de uma hora, até peso constante. O índice de umidade foi determinado segundo o método descrito por Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando 2,0 g da amostra e calculado conforme a Equação 1.

$$\% \text{ Umidade} = (N \times 100) \div P \quad (1)$$

Em que:

N = n° de gramas de umidade (perda de massa em g)

P = n° de gramas da amostra

As determinações foram conduzidas em triplicata, e os resultados expressos em gramas de água por 100 gramas de amostra (g/100 g).

2.3.2. Índice de acidez

O índice de acidez avalia a quantidade de ácidos graxos livres presentes nos óleos, sendo um importante indicador do grau de hidrólise dos triacilgliceróis e do estado de conservação das amostras. A análise foi realizada por titulação ácido-base, conforme metodologia oficial recomendada para óleos vegetais.

Foi determinado segundo o método oficial do Instituto Adolfo Lutz (2008), com adaptações. Aproximadamente 2,0 g da amostra foram transferidos para um erlenmeyer de 125 mL, ao qual se adicionaram 25 mL da solução etérea neutra (mistura éter etílico:etanol 2:1, v/v). Após homogeneização, adicionaram-se duas gotas de indicador fenolftaleína a 1%, procedendo-se à titulação com NaOH 0,01 N, previamente padronizado com biftalato de potássio, até o aparecimento da coloração rósea persistente. O índice de acidez (IA) foi calculado conforme a Equação 2.

$$IA = \frac{V \times N \times f \times 56,1}{P} \quad (2)$$

em que:

V = volume de NaOH gasto na titulação (mL);

N = normalidade da solução de NaOH;

f = fator de correção da solução de NaOH;

P = massa da amostra (g);

56,1 = peso equivalente do KOH (mg).

Os ensaios foram conduzidos em triplicata, e os resultados expressos em miligramas de hidróxido de potássio por grama de óleo (mg KOH/g).

2.3.3. Índice de peróxidos

O índice de peróxidos foi determinado com o objetivo de avaliar o nível de oxidação primária dos óleos, por meio da quantificação de peróxidos e hidroperóxidos formados nas etapas iniciais da oxidação lipídica. Foi determinado segundo AOCS (1990), com

adaptações, onde aproximadamente 5,0±0,05g da amostra foram pesados em um erlenmeyer de 250 mL com tampa esmerilhada. Em seguida, adicionaram-se 30 mL da solução ácido acético:clorofórmio (3:2, v/v) e a mistura foi agitada até completa dissolução da amostra. Posteriormente, acrescentaram-se 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio (KI) e o sistema foi mantido ao abrigo da luz por 1 minuto. Em seguida, adicionaram-se 30 mL de água destilada e procedeu-se à titulação com solução de tiosulfato de sódio 0,1 N (ou 0,01 N, quando necessário), sob constante agitação, até o desaparecimento da coloração amarela. Após esse ponto, foram adicionados 0,5 mL de solução indicadora de amido a 1%, prosseguindo a titulação até o completo desaparecimento da coloração azul. Um ensaio em branco foi conduzido nas mesmas condições, substituindo-se a amostra por solvente e o índice de peróxido (IP) foi calculado pela Equação 3.

$$IP = \frac{(A-B) \times N \times f \times 1000}{P} \quad (3)$$

em que:

A = volume de tiosulfato gasto na titulação da amostra (mL);

B = volume de tiosulfato gasto na titulação do branco (mL);

N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio;

f = fator de correção da solução de tiosulfato e P = massa da amostra (g).

Os resultados foram expressos em miliequivalentes de oxigênio ativo por quilograma de amostra (meq O₂/kg).

2.4. Caracterização da fração lipídica dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum*

A caracterização da fração lipídica dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* foi realizada com o objetivo de avaliar parâmetros de qualidade, identidade e estabilidade, conforme metodologias reconhecidas e descritas na literatura especializada. As análises contemplaram índices clássicos de qualidade de óleos vegetais e técnicas complementares para avaliação do comportamento oxidativo sob condições aceleradas.

2.4.1. Determinação do índice de iodo

O índice de iodo foi determinado pelo método de Wijs, conforme descrito por Araújo (2008), Moretto e Fett (1998) e pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz

(2008), com adaptações. Aproximadamente $0,25 \pm 0,005$ g de amostra foram transferidos para um erlenmeyer de 500 mL com tampa esmerilhada. Em seguida, adicionaram-se 15 mL de clorofórmio e 25 mL do reagente de Wijs. O frasco foi imediatamente fechado, agitado e mantido em repouso, ao abrigo da luz, por 30 a 60 minutos à temperatura ambiente, a fim de evitar reações de substituição catalisadas pela luz. Após o período de reação, adicionaram-se 10 mL de solução de iodeto de potássio (15%) e 100 mL de água destilada. A mistura foi titulada com solução de tiossulfato de sódio 0,1 N, sob agitação constante, até que a coloração se tornasse amarelada. Em seguida, acrescentaram-se 2 mL de solução de amido a 1%, e a titulação prosseguiu até o desaparecimento da coloração azul. Paralelamente, foi conduzida uma titulação em branco, utilizando apenas clorofórmio e reagente de Wijs, seguindo o mesmo procedimento descrito. O índice de iodo (I) foi calculado segundo a Equação 4.

$$I = \frac{(B-A) \times N \times f \times 12,7 \text{ml}}{m} \quad (4)$$

em que:

B = volume de tiossulfato gasto na titulação do branco (mL);

A = volume de tiossulfato gasto na titulação da amostra (mL);

N = normalidade da solução de tiossulfato de sódio (0,1 N);

f = fator de correção da solução de tiossulfato e m = massa da amostra (g).

Os resultados foram expressos em gramas de iodo por 100 g de amostra.

2.4.2. Determinação do índice de saponificação

O índice de saponificação IS exprime, em miligramas, a quantidade de hidróxido de potássio necessária para neutralizar os ácidos livres e saponificar os ésteres existentes em 1 g de substância. O IS fornece indícios de adulterações da matéria graxa com substâncias insaponificáveis (BRASIL/ANVISA, 2010). O índice de saponificação foi determinado segundo o método descrito pela Farmacopéia Brasileira (2010), utilizando 2,0 g de amostra e calculado conforme a Equação 5.

$$IS = 28,05 (n1 - n2) / m \quad (5)$$

Em que:

n1= volume de HCl gasto na titulação do branco (mL)

n2= volume de HCl gasto na titulação da amostra (mL)

m = massa de amostra em gramas.

2.4.3 Perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa

A caracterização dos ácidos graxos presentes nos óleos foi realizada por cromatografia gasosa (GC) de acordo com Viscardi et al. (2012) e Cardoso et al. (2022). Para a extração do material, 500 mg da amostra foram pesados e adicionados 5 mL de hexano. A mistura foi submetida a banho ultrassônico por 60 minutos e posteriormente deixada em repouso por 3 horas. Após esse período, realizou-se filtração, e a fração orgânica (sobrenadante) foi evaporada em capela. Após a evaporação, a amostra foi esterificada: adicionou-se 1 mL de n-heptano à amostra, e a mistura foi agitada até a completa dissolução do óleo.

Em seguida, adicionou-se 1 mL de solução metanólica de KOH 2 mol/L, e a mistura foi agitada por aproximadamente 15 minutos. Após a separação das fases, 1 mL da fase superior (heptano contendo os ésteres metílicos de ácidos graxos) foi coletado para análise cromatográfica.

A análise dos ésteres metílicos foi realizada em cromatógrafo Shimadzu GC-2010, equipado com detector por ionização em chama (DIC). A coluna utilizada foi uma Restek Stabilwax (polietilenoglicol; 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 µm de espessura de filme). A coluna foi inicialmente aquecida a 80 °C por 3 min, seguida de aquecimento até 270 °C, a uma taxa de 4 °C/min. As temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 270 °C. O volume injetado foi de 1,0 µL, no modo Split (1:20), utilizando hélio como gás de arraste, a uma velocidade linear de 25,0 cm/s. A identificação dos picos foi realizada com base no tempo de retenção, comparando-se com padrões de ésteres metílicos de ácidos graxos, e a quantificação dos componentes foi obtida pelos percentuais de área relativa.

2.5. Determinação do teor de carotenoides

O teor de carotenoides nos óleos do tucumã foi determinado por espectrofotometria UV-Vis, utilizando o comprimento de onda de 450 nm, conforme descrito por Rodrigues-Amaya e Kimura (2001), com adaptações. Aliquotas de 0,1 e 0,8g de óleo da amêndoa e polpa do tucumã, respectivamente, foram dissolvidas em éter de petróleo, garantindo completa solubilização dos carotenoides. A absorbância foi medida diretamente, utilizando o mesmo solvente como branco para calibração do

espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg de β -caroteno por 100 g de óleo.

2.6. Avaliação da estabilidade oxidativa

A estabilidade oxidativa dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* foi avaliada por meio de métodos acelerados, visando estimar a resistência da fração lipídica à oxidação sob condições controladas. Os ensaios foram conduzidos com o objetivo de caracterizar o comportamento oxidativo dos óleos frente à ação do calor e do oxigênio, permitindo a comparação entre as diferentes frações avaliadas.

Foram empregados testes baseados no monitoramento da formação de produtos de oxidação ao longo do tempo, em condições de temperatura previamente definidas, conforme metodologia descrita nos subitens a seguir. As análises foram realizadas em triplicata, e os resultados expressos como média e desvio padrão.

2.6.1. Estabilidade oxidativa em estufa

Para avaliar a estabilidade oxidativa, aproximadamente 75 g de óleo (polpa ou amêndoa) foram acondicionados em frascos de vidro transparentes, sem adição de antioxidantes, e armazenados em estufa com circulação forçada de ar a 50°C e 85% de umidade relativa de equilíbrio (URE) por 30 dias.

Os índices de acidez, peróxidos, iodo, o teor de carotenoides e a estabilidade por Rancimat foram determinados no dia zero e a cada 5 dias durante todo o período de 30 dias. As amostras foram mantidas em embalagens de vidro com tampa de polipropileno, acondicionadas em um dessecador contendo solução salina de cloreto de potássio a 85% de URE, que serviu para manter a umidade relativa de equilíbrio do meio. A solução salina era renovada a cada 5 dias para garantir a manutenção do microambiente constante até ao final do experimento.

Este procedimento permite acompanhar a evolução da degradação oxidativa dos óleos sob condições controladas de temperatura e umidade, simulando armazenamento acelerado.

2.6.2 Teste de estabilidade oxidativa acelerada (TESTO)

A estabilidade oxidativa dos óleos foi avaliada por meio do método TESTO, amplamente empregado para determinar a resistência de óleos e gorduras à oxidação lipídica sob condições aceleradas. O método baseia-se na submissão da amostra a

temperaturas elevadas, sob fluxo contínuo de ar, promovendo a oxidação acelerada dos constituintes lipídicos. Durante o ensaio, os compostos voláteis formados, principalmente ácidos orgânicos de baixo peso molecular, são transportados para um meio aquoso, onde são detectados por meio da variação da condutividade elétrica. A variação da condutividade é monitorada ao longo do tempo, sendo possível determinar o período de indução, definido como o ponto em que ocorre aumento acentuado da condutividade, indicando o início da oxidação acelerada. Esse parâmetro foi utilizado como indicador da estabilidade oxidativa dos óleos analisados. As análises foram realizadas com amostras do óleo da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*), utilizando 50 g de amostra, nas temperaturas de 100, 150 e 200 °C, a fim de avaliar o comportamento oxidativo sob diferentes condições de estresse térmico. Valores mais elevados de período de indução indicam maior resistência à oxidação, estando associados à composição em ácidos graxos, ao grau de insaturação e à presença de compostos antioxidantes naturais.

2.7. Estudos de Análise Térmica

A análise térmica dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* foi realizada por meio da técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), com o objetivo de avaliar o comportamento térmico da fração lipídica e identificar eventos associados a transições de fase e processos oxidativos induzidos pelo aquecimento.

2.7.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Para a TG e DTA foram realizadas por meio de termobalança, modelo TGA Q60, da marca Shimadzu®, em atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min, sendo a massa das amostras de cerca de 3 mg (± 0.4) acondicionadas em cadinho de alumina, na faixa de temperatura de 25-600°C, na razão de aquecimento de 10°C/min. O oxalato de cálcio foi utilizado para calibrar a escala de temperatura e a perda de massa. As curvas DSC foram obtidas utilizando Calorímetro Shimadzu® DSC-60 interligado ao software Shimadzu® TA-60WS com atmosfera de nitrogênio de 50 mL/min e razão de aquecimento de 10 °C/min, na faixa de temperatura de 25-500°C. As amostras foram colocadas em porta-amostra de alumina hermeticamente fechada com massa de 3 mg ($\pm 0,2$). Lítio e zinco foram utilizados para calibrar a escala de temperatura e a resposta de entalpia.

2.8. Oxidação acelerada em Rancimat

A estabilidade oxidativa dos óleos foi determinada pelo método de oxidação acelerada utilizando o equipamento Rancimat® 893 Biodiesel Profissional, conforme recomendação do fabricante (METROHM; SUÍÇA, 2011).

Aproximadamente $3,0 \pm 0,01$ g de óleo puro foram pesados e colocados nos reatores do equipamento. O teste foi conduzido sob aquecimento controlado a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e fluxo contínuo de ar de 20 L/h, que promoveu a oxidação acelerada do óleo. Durante a análise, a água liberada na oxidação foi capturada em um coletor e registrada automaticamente pelo software do equipamento. O tempo de indução, definido como o ponto em que houve aumento abrupto na condutividade da água coletada foi utilizado como índice de estabilidade oxidativa.

3. Análise estatística

Os resultados foram apresentados pelo valor médio das triplicatas e desvio padrão. Também foi realizada a análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de média de Tukey ($P \leq 0,05$) entre os tratamentos empregando-se o *software* STATISTICA® versão 8.0 (STATSOFT, 2007).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Extração e rendimento dos óleos

O resultado do rendimento dos óleos em massa seca (MS) da polpa e da amêndoa, estão apresentados na Tabela 1. O rendimento observado neste estudo tanto na polpa, quanto na amêndoa é inferior aos reportados por Deonarine et al. (2023), que relataram 34 % para a polpa e 28 a 45 % para a amêndoa utilizando prensagem mecânica a frio, e Pesce (2009), que encontrou 38,11 % de óleo na amêndoa.

Tabela 1 - Rendimento dos óleos da polpa e amêndoa de *A. aculeatum*

Fração	Massa (g)	Óleo (g)	Rendimento (%)	Torta (g)	Lipídeos na Torta (%) ¹
Polpa	217,0	32,5	14,98	127,1	$36,58 \pm 2,63$
Amêndoa	1420,2	103,0	7,25	959,3	$22,16 \pm 0,15$

¹ Torta corresponde ao resíduo sólido remanescente após a extração do óleo da polpa ou da amêndoa, contendo lipídios residuais e podendo ser aproveitada para outros usos alimentícios ou industriais.

Barbosa, L.C; et al., (2009) observaram óleo de amêndoas com 51,74 %. As diferenças podem ser explicadas por variações na estrutura do material, condições operacionais e metodologias empregadas (BARBOSA, L.C; et al., 2009).

Fatores como granulometria, teor de umidade e compactação influenciam diretamente a eficiência da extração. A polpa, com maior proporção de tecido parenquimático e menor compactação, favorece a liberação de óleo, enquanto a amêndoa requer maior energia para ruptura, resultando em menor rendimento.

Apesar disso, o óleo da polpa apresentou elevado potencial para uso alimentar devido ao perfil de ácidos graxos insaturados, enquanto o óleo da amêndoa, rico em ácidos graxos saturados, possui maior estabilidade oxidativa e é promissor para aplicações cosméticas e farmacêuticas.

A extração mecânica, embora menos eficiente em rendimento, permite obter óleos de alta qualidade e pode ser otimizada com pré-tratamentos físicos ou combinada com técnicas complementares para aumentar a extração total, promovendo aproveitamento integral do fruto e agregando valor à cadeia produtiva do tucumã.

A extração mecânica de óleos apresenta vantagens importantes para aplicações alimentares. Por não utilizar solventes químicos, o óleo obtido está livre de resíduos indesejáveis, aumentando a segurança alimentar. Além disso, esse método preserva compostos bioativos, como vitaminas lipossolúveis e carotenoides, garantindo maior valor nutricional. O perfil natural de ácidos graxos é mantido, favorecendo a qualidade funcional do óleo, enquanto características sensoriais, como sabor, aroma e cor, são melhor preservadas. A extração mecânica também se destaca pela simplicidade operacional e menor impacto ambiental, permitindo produção sustentável em diferentes escalas. Por essas razões, óleos obtidos mecanicamente são especialmente indicados para alimentos “premium” ou funcionais, com potencial agregado elevado (GUEDES, 2006).

4.2. Caracterização física e química dos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã

A caracterização física e química dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* fornece informações iniciais relevantes sobre a qualidade e o estado de conservação da fração lipídica (Tabela 2). Os baixos teores de umidade observados em ambas as amostras indicam adequada separação da fase oleosa, uma vez que a

presença de água em óleos favorece reações hidrolíticas e pode acelerar processos de deterioração. O índice de acidez evidenciou comportamento distinto entre os óleos avaliados, refletindo diferenças na extensão das reações de hidrólise dos triacilgliceróis. Valores elevados desse parâmetro indicam maior presença de ácidos graxos livres, os quais podem estar associados a características intrínsecas da matéria-prima, bem como às condições de extração e armazenamento. A maior acidez observada no óleo da amêndoa sugere maior suscetibilidade a processos hidrolíticos, aspecto relevante do ponto de vista tecnológico e de qualidade. Luciedry et al. (2024) também relataram altos valores de acidez em óleos de amêndoas de tucumã, reforçando que este parâmetro é crítico para a qualidade do óleo.

Tabela 2 – Caracterização física e química dos óleos da polpa e da amêndoa de *A. aculeatum*

Análises	Polpa	Amêndoa
Umidade (g/100g)	0,53±0,01	0,52±0,03
Índice de Acidez (mg KOH/g)	4,18±0,11	18,50±0,23
Índice de Peróxidos (mEq O ₂ /Kg)	7,95±1,98	3,96±0,02

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão.

Em relação ao índice de peróxidos, ambos os óleos apresentaram valores compatíveis com estágios iniciais de oxidação lipídica, indicando formação limitada de produtos primários de oxidação, corroborando com Rodrigues et al. (2015) que destacam que a composição em ácidos graxos é determinante para a velocidade de oxidação. A diferença observada entre polpa e amêndoa pode ser atribuída à composição da fração lipídica e à presença de compostos antioxidantes naturais, que atuam na inibição das reações oxidativas. Esse parâmetro, entretanto, deve ser interpretado em conjunto com outros indicadores de estabilidade, uma vez que não reflete isoladamente o comportamento oxidativo do óleo ao longo do tempo.

De forma geral, os resultados da caracterização física e química indicam que os óleos apresentam perfis distintos de qualidade inicial, o que justifica a avaliação complementar da composição lipídica, do conteúdo de compostos bioativos e do comportamento frente a ensaios de estabilidade oxidativa.

4.2.1. Caracterização da fração lipídica

A caracterização da fração lipídica evidencia diferenças entre os óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum*, especialmente no que se refere ao grau de insaturação e às características estruturais dos ácidos graxos que compõem os triacilgliceróis, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Caracterização da fração lipídica dos óleos da polpa e da amêndoa de *A. aculeatum*

Análises	Polpa	Amêndoa
Índice de Iodo (g I ₂ /100g)	112,21±1,05	6,59±0,48
Índice de Saponificação (mgKOH/g)	192,63±0,53	210,01±1,44

Os resultados são expressos como média ± desvio padrão.

O índice de iodo reflete o conteúdo de duplas ligações presentes na fração lipídica, sendo um indicativo direto do grau de insaturação do óleo. O valor mais elevado observado para o óleo da polpa indica predominância de ácidos graxos insaturados, característica frequentemente associada a maior valor nutricional, mas também a maior suscetibilidade às reações oxidativas. Esse resultado está em conformidade com Nascimento et al. (2024), que identificaram predominância de ácidos graxos insaturados no óleo da polpa, característica que, embora positiva do ponto de vista nutricional, aumenta a suscetibilidade à oxidação. Em contraste, o baixo índice de iodo do óleo da amêndoa sugere maior proporção de ácidos graxos saturados, o que confere maior estabilidade química à fração lipídica. O índice de saponificação indica o comprimento médio das cadeias de ácidos graxos nos triacilgliceróis, sendo que valores mais altos refletem a predominância de ácidos graxos de menor massa molecular. O óleo da amêndoa apresentou maior índice, sugerindo cadeias mais curtas que as do óleo da polpa, o que pode influenciar propriedades como ponto de fusão e comportamento térmico. O valor observado para a polpa foi inferior ao relatado por Barbosa JR et al. (2009), possivelmente devido à coleta em anos diferentes, já que fatores climáticos podem afetar a composição lipídica (COSTA, 2015). De forma geral, quanto maior o índice de saponificação, menor o peso molecular médio dos ácidos graxos, indicando que o óleo de amêndoa do tucumã é composto principalmente por ácidos graxos de cadeia curta (JORGE; LUZIA, 2012). A análise dos índices de iodo e de saponificação revelou diferenças estruturais entre

os óleos: o da polpa apresentou maior insaturação, enquanto o da amêndoa indicou predominância de ácidos graxos de cadeia mais curta. Essas características explicam os diferentes comportamentos na estabilidade oxidativa e térmica.

4.3. Perfil de ácidos graxos

A análise cromatográfica foi determinada no óleo bruto (tempo inicial) e após o acompanhamento da estabilidade e estufa a 50°C por 30 dias. O perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum*, determinado no tempo inicial (Tabela 4), evidencia diferenças marcantes na composição da fração lipídica entre as duas matrizes.

Tabela 4 – Perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de *A. aculeatum* (tempo inicial)

Compostos	Óleo de Polpa (%)	Óleo de Amêndoa (%)
Ácidos graxos insaturados		
Ácido oleico (C18:1)	66,6	5,9
Ácido linoleico (C18:2)	1,2	2,3
Ácido linolênico (C18:3)	0,3	0,1
Ácidos graxos saturados		
Ácido palmítico (C16:0)	23,8	5,6
Ácido araquídico (C20:0)	4,1	0,1
Ácido esteárico (C18:0)	2,8	2,2
Ácido mirístico (C14:0)	0,1	27,4
Ácido láurico (C12:0)	0,1	54,2
Ácido behêncio (C22:0)	0,1	0,1
Ácido cáprico (C10:0)	0,8	2,1
Ácidos Graxos Monoinsaturados	66,6	5,9
Ácidos Graxos Poliinsaturados	1,5	2,4
Ácidos Graxos Saturados	31,8	91,7
Total de Ácidos Graxos	99,9	100

Resultados expressos em porcentagem relativa (%).

4.3.1. Ácidos graxos predominantes

Na polpa do tucumã, os ácidos graxos insaturados predominantes encontrados foram o ácido oleico (ômega-9, monoinsaturado), o ácido linoleico (ômega-6, poli-insaturado) e o ácido linolênico (ômega-3, poli-insaturado).

Todos apresentam reconhecidos benefícios cardiovasculares, especialmente na redução dos níveis séricos de colesterol LDL (Low Density Lipoprotein), considerado um dos principais fatores de risco para doenças ateroscleróticas (AMORIM et al., 2021; BJERMO et al., 2012)..

Para a amêndoa, verificou-se maior quantidade de ácidos graxos saturados, onde, o ácido láurico (C12:0) destaca-se por suas propriedades antimicrobianas, com efeitos positivos na saúde da pele, além de apresentar ação antibacteriana e antiviral, podendo contribuir para o fortalecimento do sistema imunológico.

Enquanto que o ácido mirístico (C14:0) possui aplicações industriais, sendo amplamente utilizado como agente emulsificante na indústria de alimentos, o que melhora a textura e estabilidade de diferentes formulações (GUNSTONE, 2005; SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2018).

A presença de ácidos graxos insaturados na polpa, especialmente o oleico, confere ao óleo propriedades como atividade antioxidante, cicatrizante e potencial efeito antitumoral (SOUZA et al., 2017; GALLO et al., 2011). Por sua vez, os ácidos graxos saturados da amêndoa oferecem vantagens para formulações tecnológicas que requerem maior resistência à oxidação, sendo utilizados em produtos alimentícios e cosméticos.

4.3.2. Ácido láurico e suas implicações tecnológicas

A caracterização do perfil de ácidos graxos evidenciou elevada concentração de ácido láurico no óleo da amêndoa de tucumã, correspondendo a aproximadamente 54,2% da fração lipídica. Esse resultado é particularmente relevante, uma vez que óleos naturalmente ricos em ácido láurico são pouco comuns na natureza, sendo encontrados principalmente em óleos de palmáceas específicas, como coco e palmiste (GUNSTONE, 2011). A presença expressiva desse ácido graxo confere ao óleo da amêndoa características físicas, químicas e funcionais diferenciadas.

O ácido láurico é um ácido graxo saturado de cadeia média (C12:0), reconhecido por sua alta estabilidade oxidativa, atribuída à ausência de ligações duplas em sua

estrutura química. Essa característica contribui para a maior resistência do óleo à oxidação lipídica quando comparado a óleos ricos em ácidos graxos insaturados, tornando-o especialmente interessante para aplicações que envolvem exposição ao calor, armazenamento prolongado ou processamento térmico (FRANKEL, 2010).

Além da estabilidade oxidativa, o ácido láurico apresenta propriedades antimicrobianas, associadas à formação de monolaurina durante o metabolismo, composto com atividade comprovada contra bactérias, fungos e vírus. Em função dessas propriedades, óleos ricos em ácido láurico têm sido amplamente explorados nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica, especialmente na formulação de produtos funcionais, emulsões estáveis, sabonetes e ingredientes com potencial bioativo (DAYRIT, 2015).

Do ponto de vista tecnológico, a elevada proporção de ácido láurico também influencia o comportamento térmico e físico do óleo, resultando em maior ponto de fusão e maior rigidez à temperatura ambiente, características desejáveis em aplicações estruturantes, como gorduras para confeitaria, substitutos de manteigas e bases lipídicas para produtos semissólidos. Assim, o óleo da amêndoa de tucumã apresenta potencial promissor como fonte alternativa de lipídios láuricos, ampliando as possibilidades de aproveitamento industrial desse recurso amazônico.

4.3.3. Perfil de ácidos graxos após armazenamento em estufa

O perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum*, avaliado após 30 dias de armazenamento em estufa (Tabela 5), apresentou composição semelhante à observada no tempo inicial, indicando elevada estabilidade estrutural da fração lipídica frente às condições de oxidação acelerada (FRANKEL, 2010). As variações observadas nos teores percentuais dos ácidos graxos foram discretas e podem ser atribuídas à redistribuição relativa dos constituintes, sem evidências de degradação seletiva da fração lipídica (FRANKEL, 2010; GUNSTONE, 2011). No óleo extraído da polpa, manteve-se a predominância do ácido oleico, bem como a elevada proporção de ácidos graxos insaturados, enquanto o óleo da amêndoa permaneceu caracterizado pelo alto teor de ácidos graxos saturados, especialmente os ácidos láurico e mirístico, perfil típico de óleos láuricos. A manutenção dessa composição após o período de estufa reforça os resultados obtidos nos ensaios de estabilidade oxidativa e na análise térmica, indicando

resistência da fração lipídica às condições impostas de aquecimento e exposição ao oxigênio (FRANKEL, 2010; CHOE, 2006).

Tabela 5 – Perfil de ácidos graxos dos óleos da polpa e da amêndoa de *A. aculeatum* após 30 dias de estufa

Compostos	Óleo de Polpa (%)	Óleo de Amêndoa (%)
Ácidos graxos insaturados		
Ácido oleico (C18:1)	67,9	6,8
Ácido linoleico (C18:2)	1,4	2,7
Ácido linolênico (C18:3)	0,4	0,2
Ácidos graxos saturados		
Ácido palmítico (C16:0)	22,9	5,2
Ácido araquídico (C20:0)	3,8	0,1
Ácido esteárico (C18:0)	2,6	2,0
Ácido mirfístico (C14:0)	0,1	28,2
Ácido láurico (C12:0)	0,1	52,8
Ácido behêncio (C22:0)	0,1	0,1
Ácido cáprico (C10:0)	0,7	1,9
Ácidos Graxos Monoinsaturados	67,9	6,8
Ácidos Graxos Poliinsaturados	1,8	2,9
Ácidos Graxos Saturados	30,3	90,3
Total de Ácidos Graxos	100,0	100,0

Resultados expressos em porcentagem relativa (%).

Dessa forma, a avaliação do perfil de ácidos graxos em dois momentos distintos contribuiu para a compreensão do comportamento oxidativo dos óleos, evidenciando que as alterações observadas nos parâmetros de estabilidade não estão associadas a mudanças significativas na composição estrutural dos ácidos graxos, mas sim à interação entre grau de saturação lipídica e presença de compostos antioxidantes naturais (GUNSTONE, 2011; CHOE, 2006).

4.4. Oxidação Acelerada em Rancimat

O método Rancimat foi empregado para a avaliação da estabilidade oxidativa dos óleos, por meio da determinação do tempo de indução, permitindo acompanhar a evolução do processo oxidativo durante o período de estocagem. Observou-se comportamento distinto entre as amostras, com maior tempo de indução para o óleo da polpa (20,47 h) em relação ao óleo da amêndoa (10,53 h), indicando maior resistência inicial à oxidação. Esse comportamento pode ser atribuído ao elevado teor de carotenoides presentes no óleo da polpa, pigmentos naturais com reconhecida atividade antioxidante, que atuam retardando a formação de produtos de oxidação lipídica e prolongando o período de indução. Métodos acelerados, como o Rancimat, potencializam a influência de antioxidantes naturais, justificando a maior resistência inicial observada no óleo da polpa (PONTES et al., 2021). Portanto, os dados aferidos neste estudo para o teste de estabilidade oxidativa (Rancimat), observou-se comportamento inverso: o óleo da polpa apresentou maior tempo de indução (20,47 h) em comparação ao da amêndoa (10,53 h). Embora a amêndoa apresente predominância de ácidos graxos saturados, que normalmente conferem maior estabilidade oxidativa (VASCONCELOS, 2010). Os resultados encontrados neste estudo, indicam que a presença de antioxidantes naturais na polpa exercem efeito protetor mais relevante na fase inicial da oxidação. Resultados semelhantes foram observados em outros óleos de palmeiras amazônicas, como buriti e pupunha, nos quais a estabilidade oxidativa se correlacionou fortemente ao conteúdo de compostos fenólicos e carotenoides, e não apenas ao perfil de saturação lipídica (MESQUITA et al., 2018).

4.5. Teor de carotenoides na polpa e na amêndoa

O teor de carotenoides diferiu entre os óleos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum aculeatum* (Tabela 6), evidenciando a contribuição distinta de compostos bioativos em cada fração. O óleo da polpa apresentou elevado conteúdo de carotenoides, enquanto o óleo da amêndoa apresentou valores substancialmente inferiores. Maia et al. (2014) já haviam associado a intensa coloração do óleo da polpa de tucumã ao acúmulo de carotenoides, que atuam como barreira natural contra a oxidação lipídica.

Tabela 6 – Teor de carotenoides nos óleos da polpa e da amêndoa.

Óleo	Carotenoides (µg/g)
Polpa	512,80 ± 1,73
Amêndoa	22,24 ± 1,13

Resultados expressos como média ± desvio padrão.

Os carotenoides são compostos bioativos reconhecidos por sua atividade antioxidante, atuando principalmente na neutralização de radicais livres e na proteção da fração lipídica contra reações oxidativas. Dessa forma, a elevada concentração desses compostos no óleo da polpa pode contribuir para maior resistência inicial à oxidação, compensando parcialmente o maior grau de insaturação da fração lipídica. Por outro lado, o baixo teor de carotenoides observado no óleo da amêndoa indica menor aporte de antioxidantes naturais, o que torna a estabilidade oxidativa desse óleo mais dependente da sua composição em ácidos graxos, predominantemente saturados. Assim, a presença ou ausência de compostos bioativos deve ser considerada de forma integrada à composição lipídica na interpretação dos resultados de estabilidade oxidativa e comportamento térmico. Os resultados obtidos reforçam a relevância da caracterização dos compostos bioativos na avaliação do potencial tecnológico e alimentar dos óleos de tucumã, uma vez que esses constituintes influenciam diretamente a qualidade, a estabilidade e as possíveis aplicações dos produtos.

4.6. Estabilidade oxidativa dos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã.

4.6.1. Estabilidade oxidativa do óleo extraído da polpa do tucumã durante armazenamento acelerado (50°C; 85% URE).

Os parâmetros dos índices de acidez, iodo e peróxidos, tempo de indução pelo Rancimat e carotenoides totais dos óleos da polpa do tucumã, avaliados ao longo de 30 dias de armazenamento acelerado (50°C; 85% URE), estão apresentados na Tabela 7. A estabilidade oxidativa do óleo da polpa foi avaliada por diferentes parâmetros químicos ao longo de 30 dias de armazenamento.

O índice de acidez apresentou valores iniciais de 4,18 mg KOH/g, alcançando 7,79 mg KOH/g ao final do período. Esse aumento está associado à hidrólise dos triacilgliceróis e conseqüente formação de ácidos graxos livres, confirmando a

ocorrência de deterioração hidrolítica e ressaltando a relevância desse parâmetro como indicador da qualidade do óleo.

Tabela 7 - Variação dos índices de acidez (IA), iodo (II), peróxidos (IP), período de indução (PI - Rancimat) e carotenoides do óleo da polpa de tucumã durante armazenamento acelerado (50°C; 85% URE)

Tempo (dias)	IA (mg KOH/g)	II (g I ₂ /100 g)	IP (mEq O ₂ /kg)	PI (horas)	Carotenoides (µg/g)
0	4,18±0,11 ^a	112,21±1,05 ^a	7,95±1,98 ^a	20,47±0,42 ^a	512,80±1,73 ^a
5	4,93±0,01 ^b	100,97±0,50 ^b	10,61±1,14 ^a	16,70±0,20 ^b	290,41±16,74 ^b
10	5,34±0,01 ^c	86,25±1,67 ^c	29,84±1,98 ^c	12,17±0,21 ^c	283,90±5,83 ^b
15	5,95±0,01 ^d	69,73±0,82 ^d	33,16±1,16 ^c	10,37±0,40 ^d	168,48±9,36 ^d
20	7,17±0,01 ^e	45,14±0,15 ^e	45,79±0,05 ^e	7,17±0,21 ^e	77,31±6,12 ^e
25	7,40±0,01 ^f	28,34±0,25 ^f	61,68±0,08 ^f	3,17±0,12 ^f	33,79±1,83 ^f
30	7,79±0,02 ^g	9,15±0,27 ^g	83,55±0,04 ^g	2,20±0,20 ^g	15,56±0,19 ^f

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (p≤0,05) entre as amostras, pelo teste de Tukey.

O índice de iodo apresentou inicialmente 112,21 g I₂/100 g, compatível com a elevada proporção de ácidos graxos insaturados característicos do óleo da polpa. No entanto, verificou-se redução expressiva, atingindo 9,15 g I₂/100 g após 30 dias, o que reflete o consumo das duplas ligações durante a oxidação e evidencia intensa degradação lipídica. De forma complementar, o índice de peróxido demonstrou crescimento progressivo, passando de 7,95 mEq O₂/kg no tempo inicial para 83,55 mEq O₂/kg ao final do armazenamento. Esse comportamento confirma a formação contínua de hidroperóxidos, compostos típicos da fase primária da oxidação lipídica, e evidencia a elevada suscetibilidade do óleo ao processo oxidativo. Os resultados obtidos pelo Rancimat corroboram esses resultados, uma vez que o período de indução reduziu-se drasticamente de 20,47 h para 2,20 h, indicando perda progressiva de estabilidade oxidativa.

4.6.2. Estabilidade oxidativa do óleo extraído da amêndoa do tucumã durante armazenamento acelerado (50°C; 85% URE).

Os parâmetros dos índices de acidez, iodo e peróxidos, tempo de indução pelo Rancimat e carotenoides totais dos óleos da amêndoa do tucumã, avaliados ao longo

de 30 dias de armazenamento acelerado (50°C; 85% URE), estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Variação dos índices de acidez (IA), iodo (II), peróxidos (IP), período de indução (PI - Rancimat) e carotenoides do óleo da amêndoa de tucumã durante armazenamento acelerado (50°C; 85% URE)

Tempo (dias)	IA (mg KOH/g)	II (g I ₂ /100 g)	IP (mEq O ₂ /kg)	PI- Rancimat (horas)	Carotenoides (µg/g)
0	18,50±0,23 ^a	6,59±0,48 ^a	3,96±0,02 ^a	10,53±0,30 ^a	22,24±1,13 ^a
5	19,84±0,14 ^b	5,73±0,37 ^b	15,25±1,07 ^b	9,83±0,15 ^b	10,58±1,55 ^b
10	20,42±0,19 ^c	3,67±0,27 ^c	21,90±1,50 ^c	7,83±0,13 ^c	6,28±0,55 ^c
15	20,63±0,14 ^c	3,20±0,28 ^c	32,49±0,14 ^d	6,07±0,06 ^d	4,60±0,31 ^d
20	21,32±0,23 ^d	3,37±0,27 ^c	47,75±2,00 ^e	5,33±0,21 ^e	3,75±0,13 ^d
25	21,82±0,14 ^e	1,43±0,02 ^d	58,99±3,15 ^f	4,27±0,13 ^f	2,42±0,13 ^e
30	22,14±0,17 ^f	0,96±0,01 ^e	85,54±2,36 ^g	3,09±0,13 ^g	1,87±0,06 ^f

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (p≤0,05) entre as amostras, pelo teste de Tukey.

O óleo da amêndoa apresentou índice de acidez inicial de 18,50 mg KOH/g, aumentando para 22,14 mg KOH/g após 30 dias de armazenamento. Esses valores, superiores aos observados para a polpa, indicam maior predisposição da amêndoa à hidrólise dos triacilgliceróis, possivelmente associada à sua composição lipídica e à presença de umidade residual.

O índice de iodo foi mais reduzido que o da polpa, iniciando em 6,59 g I₂/100 g e reduzindo para 0,96 g I₂/100 g ao final do período experimental. Esses resultados refletem um perfil de ácidos graxos menos insaturados, indicando que, embora a oxidação ocorra, ela incide sobre uma matriz estrutural menos suscetível à degradação oxidativa. O índice de peróxido apresentou aumento expressivo, variando de 3,96 mEq O₂/kg no tempo inicial para 85,54 mEq O₂/kg após 30 dias.

Esse comportamento sugere que, apesar da baixa insaturação evidenciada pelo índice de iodo, a amêndoa sofreu acentuado acúmulo de hidroperóxidos, o que pode estar relacionado à menor eficiência de seus mecanismos antioxidantes endógenos. O período de indução medido pelo método Rancimat confirmou essa menor estabilidade, partindo de 10,53 h e reduzindo para 3,09 h no 30º dia. A queda

progressiva desse parâmetro reforça a vulnerabilidade do óleo da amêndoa à oxidação, principalmente devido à reduzida presença de compostos bioativos protetores.

4.7. Análise comparativa da estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa de tucumã durante armazenados a 50°C e 85% URE.

4.7.1. Índice de acidez

O índice de acidez aumentou progressivamente em ambos os óleos, indicando hidrólise de triacilgliceróis ao longo do armazenamento (Figura 1). O óleo da polpa apresentou valores iniciais mais baixos (4,18 mg KOH/g), atingindo 7,79 mg KOH/g no 30º dia, enquanto a amêndoa apresentou valores superiores desde o início (18,50 mg KOH/g), chegando a 22,14 mg KOH/g.

Esses resultados evidenciam maior suscetibilidade da amêndoa à hidrólise, possivelmente relacionada à sua composição em ácidos graxos de cadeia média. Resultados semelhantes foram reportados para óleos de palmáceas armazenados em condições aceleradas (SILVA et al., 2017; SANTOS et al., 2020).

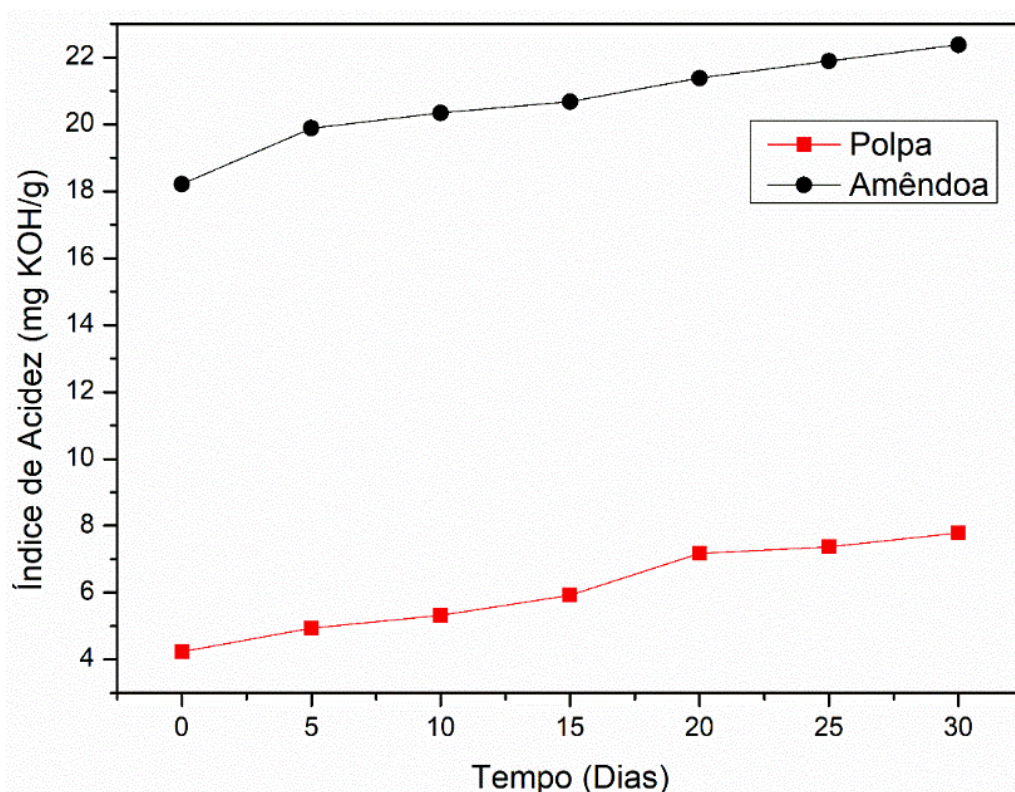


Figura 2 - Índice de Acidez nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE

4.7.2. Índice de Peróxidos nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã

O aumento do índice de peróxidos foi significativo ao longo do armazenamento, atingindo 83,55 mEq O₂/kg na polpa e 85,54 mEq O₂/kg na amêndoa (Figura 2). Esse comportamento é típico da fase inicial da oxidação lipídica, caracterizada pelo acúmulo de peróxidos, seguida de degradação em compostos secundários.

Trabalhos prévios com óleos de açaí e buriti demonstraram padrões semelhantes, ainda que com intensidades distintas, dependendo da composição lipídica e da presença de antioxidantes naturais (MANCEBO et al., 2007).

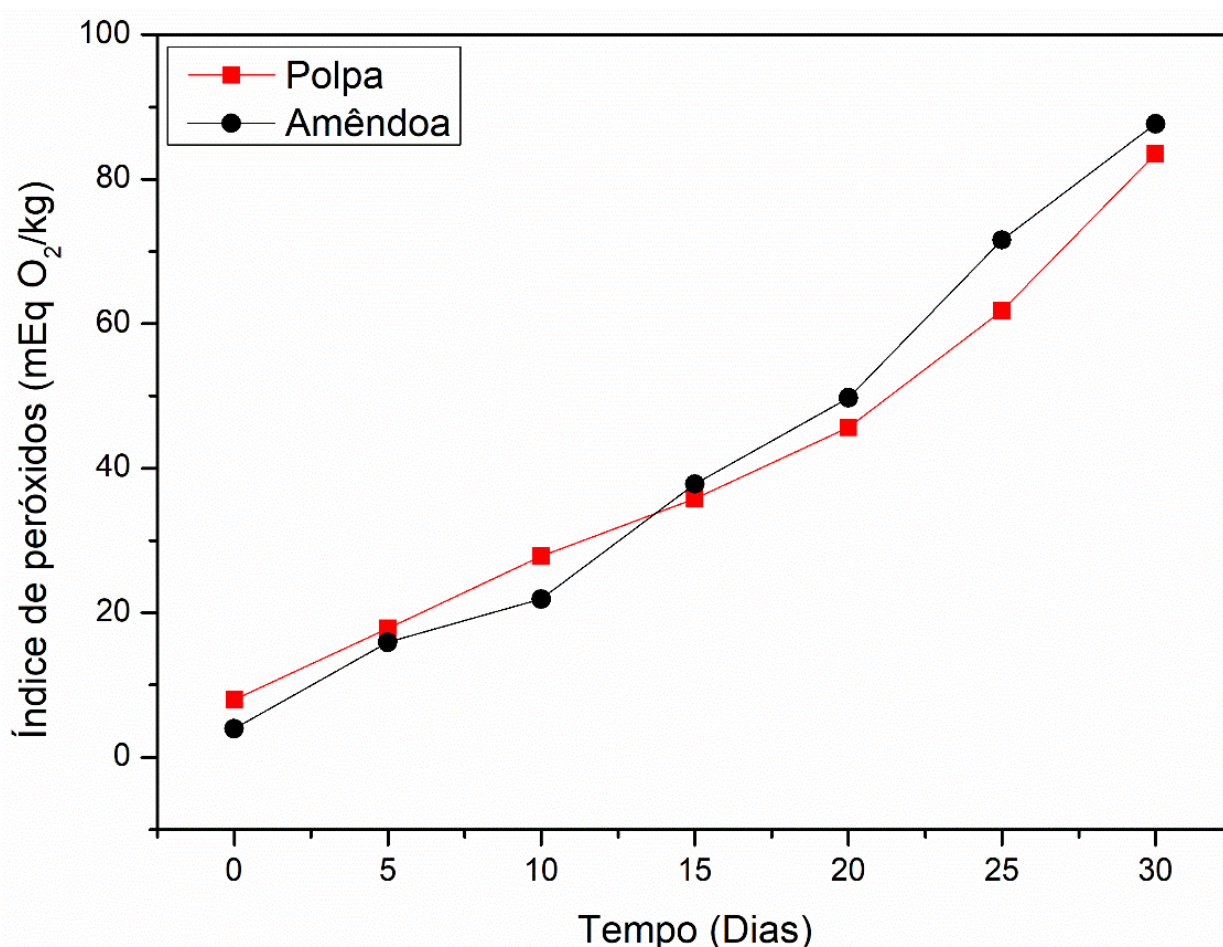


Figura 3 - Índice de Peróxido nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE

4.7.3. Índice de Iodo nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã.

O índice de iodo decresceu continuamente em ambos os óleos, refletindo a redução dos ácidos graxos insaturados pela oxidação (Figura 3). Na polpa, o valor inicial de

112,21 g I₂/100 g reduziu para 9,15 g I₂/100 g em 30 dias, enquanto na amêndoa a redução foi menos expressiva (6,59 para 0,96 g I₂/100 g).

A diminuição do valor do índice de iodo no óleo da polpa (do dia 0 ao dia 30) está associada à sua maior proporção de ácidos graxos insaturados, como o oleico e linoleico, confirmando dados da literatura (MIRANDA et al., 2019; SILVA et al., 2017).

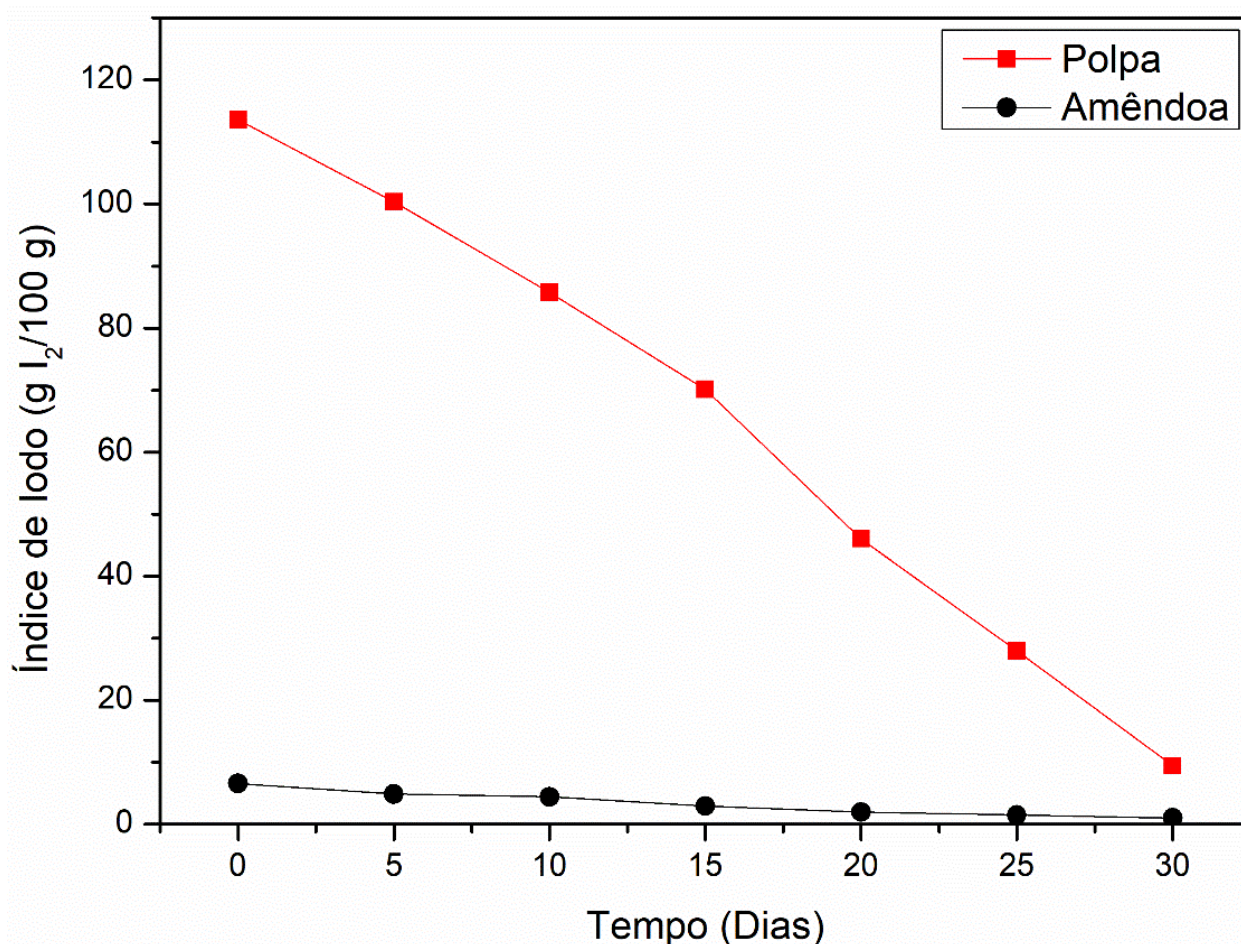


Figura 4 - Índice de Iodo nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE

4.7.4. Período de indução em Rancimat nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã.

O tempo de indução medido pelo Rancimat reduziu-se em ambos os óleos, indicando menor resistência à oxidação ao longo do tempo (Figura 4). O óleo da polpa apresentou maior período inicial (20,47 h) em comparação à amêndoa (10,53 h), mas ambos alcançaram valores críticos após 30 dias (2,20 h e 3,09 h, respectivamente). Esses resultados confirmam a eficácia limitada da matriz lipídica em resistir ao processo oxidativo em condições extremas de temperatura e umidade. Trabalhos

semelhantes destacam o Rancimat como ferramenta confiável para estimar a vida útil de óleos vegetais (GUILLEN; CABO, 1999; SILVA et al., 2017).

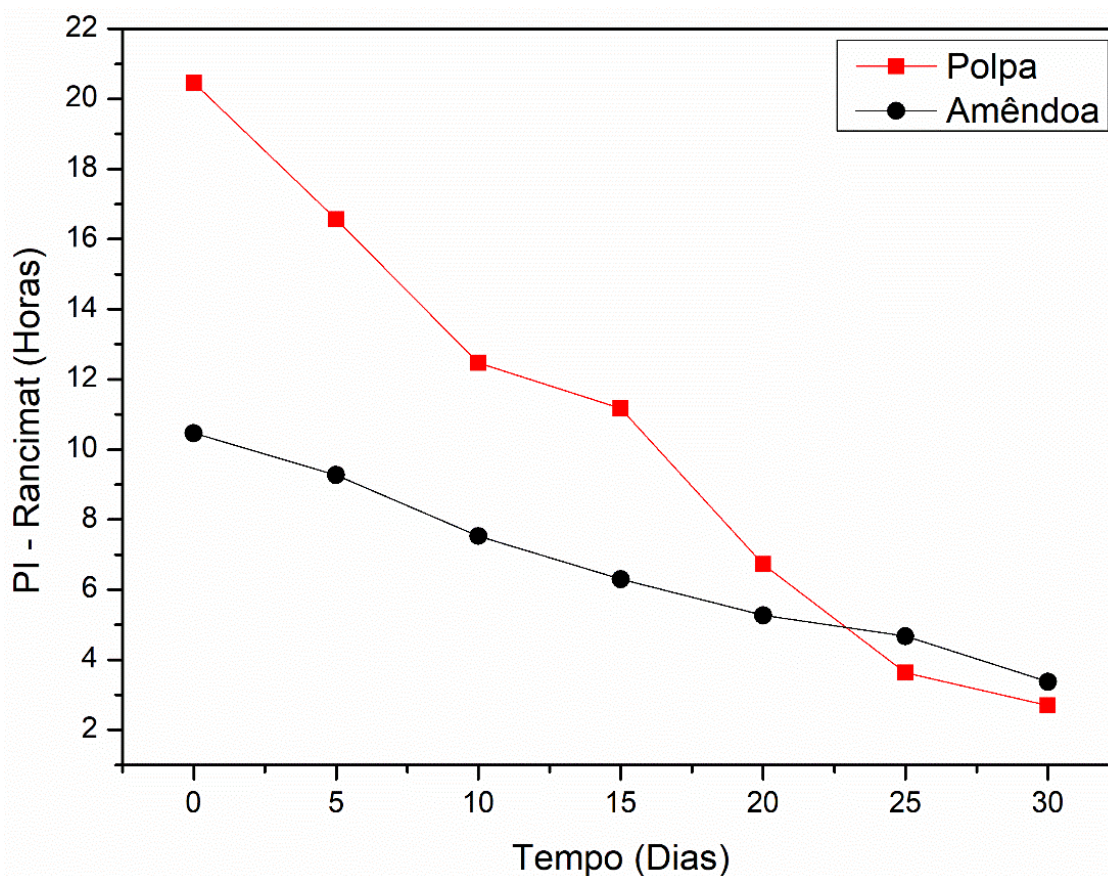


Figura 5 - Período de Indução (PI) por Rancimat nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE

4.7.5. Carotenoides nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã

Os teores de carotenoides apresentaram declínio acentuado, especialmente no óleo da polpa, que passou de 512,80 µg/g para apenas 15,56 µg/g em 30 dias. A amêndoa apresentou concentrações iniciais mais baixas (22,24 µg/g), chegando a 1,87 µg/g ao final do período (Figura 5). A degradação desse pigmento é esperada, dada sua alta sensibilidade à oxidação, mas a magnitude observada ressalta a instabilidade da fração carotenóidica da polpa. Estudos com tucumã e buriti relatam perdas semelhantes sob armazenamento acelerado (RODRIGUES-AMAYA; KIMURA, 2004).

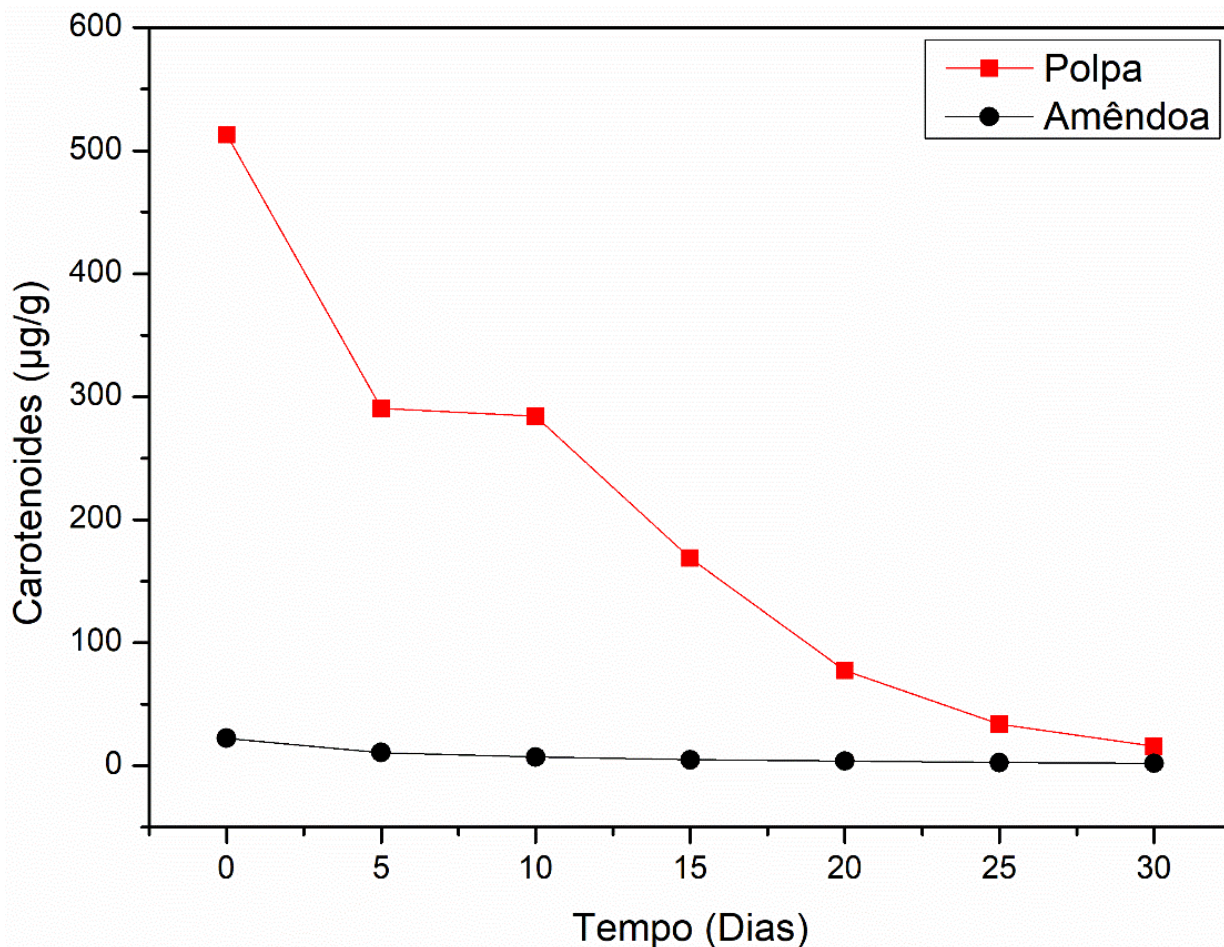


Figura 6 - Carotenoides nos óleos da polpa e da amêndoa do tucumã durante o armazenamento a 50°C e 85% de URE

Os resultados evidenciam deterioração oxidativa significativa em ambos os óleos durante armazenamento acelerado, com formação de peróxidos e aumento da acidez (indicativos de oxidação primária e secundária), perda de insaturações (redução do índice de iodo), consumo de antioxidantes (redução de carotenoides) e diminuição do tempo de indução. Comparativamente, o óleo da polpa apresentou maior resistência inicial à oxidação, atribuída ao maior teor de compostos antioxidantes e maior tempo de indução inicial, enquanto o óleo da amêndoa apresentou maior acidez desde o início, sugerindo menor estabilidade oxidativa.

4.8. Estudos de Análise Térmica

4.8.1. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) na Polpa

A curva de DSC do óleo da polpa (Figura 6) evidenciou eventos térmicos característicos de óleos ricos em ácidos graxos insaturados, os quais apresentam maior sensibilidade ao aquecimento devido à presença de ligações duplas na cadeia

carbônica (FRANKEL, 2010). Até aproximadamente 200 °C, observaram-se apenas variações discretas no fluxo de calor, sem indícios de eventos térmicos intensos, associadas a rearranjos físicos da matriz lipídica e possíveis transições relacionadas à organização dos triacilgliceróis (MOTHE; AZEVEDO, 2009).

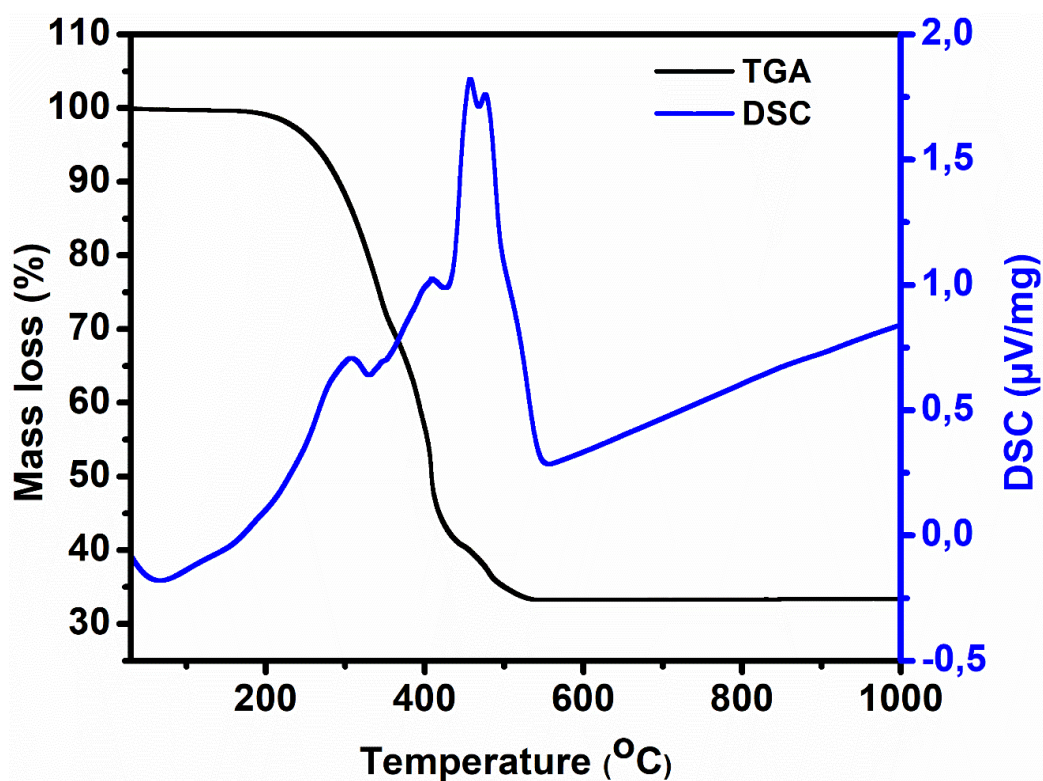


Figura 7 – Curvas de DSC e TGA do óleo da polpa de *A. aculeatum*.

Entre aproximadamente 200 e 350 °C, verificou-se o início de eventos endotérmicos mais pronunciados, acompanhados pelo aumento do sinal de DSC, indicando o começo da decomposição térmica dos triacilgliceróis e de compostos termolábeis presentes no óleo. O principal evento térmico ocorreu entre 350 e 450 °C, caracterizado por um pico de maior intensidade, atribuído à degradação térmica da fração lipídica, envolvendo reações de ruptura das cadeias de ácidos graxos e formação de produtos voláteis (MOTHE; AZEVEDO, 2009; SANTOS et al., 2004). Esse comportamento térmico reflete a elevada insaturação do óleo da polpa, que confere menor estabilidade térmica quando comparado a óleos ricos em ácidos graxos saturados. Tal resultado está em concordância com os dados obtidos nos ensaios de estabilidade oxidativa, reforçando a relação entre grau de insaturação

lipídica, comportamento térmico e suscetibilidade à degradação sob condições de aquecimento (FRANKEL, 2010; SANTOS et al., 2004).

4.8.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) na Amêndoa

A Figura 7 apresenta a curva de DSC do óleo da amêndoa, a qual evidenciou comportamento térmico distinto daquele observado para o óleo da polpa, indicando maior estabilidade térmica da matriz lipídica.

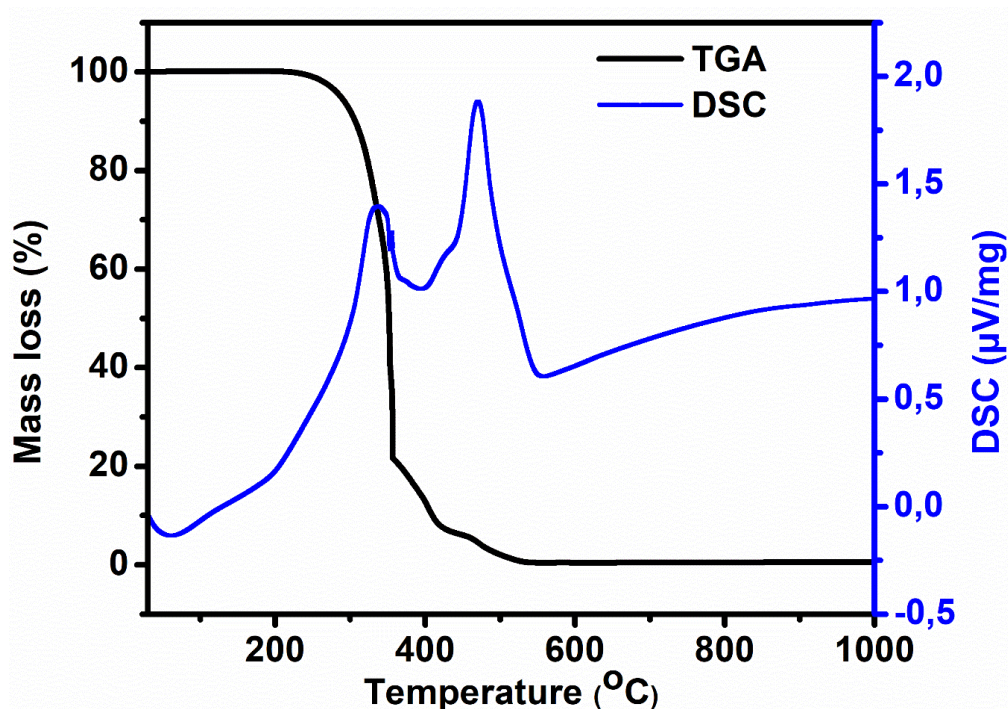


Figura 8 – Curvas de DSC e TGA do óleo da amêndoa de *A. aculeatum*.

Até aproximadamente 250 °C, o óleo apresentou fluxo de calor relativamente estável, sem eventos endotérmicos ou exotérmicos pronunciados, sugerindo elevada resistência inicial à degradação térmica.

A decomposição térmica ocorreu de forma mais gradual e em temperaturas mais elevadas, com eventos menos intensos no sinal de DSC, característica associada à predominância de ácidos graxos saturados, especialmente ácido láurico e mirístico, que favorecem maior organização molecular e menor susceptibilidade térmica da fração lipídica (TAN; CHE MAN, 2002; MARINA et al., 2009). Esse comportamento é típico de óleos láuricos, nos quais a ausência de ligações duplas confere maior

estabilidade frente ao aquecimento quando comparados a óleos ricos em ácidos graxos insaturados.

Resultados semelhantes foram observados por Oliveira (2018), ao avaliar o comportamento térmico de óleos extraídos de amêndoas por DSC, atribuindo a maior estabilidade térmica à elevada proporção de ácidos graxos saturados e à organização estrutural dos triacilgliceróis. Segundo a autora, esses fatores contribuem para o deslocamento dos eventos térmicos para temperaturas mais elevadas e para a redução da intensidade dos picos de degradação.

Dessa forma, a análise térmica por DSC confirma que o óleo da amêndoa de tucumã apresenta maior resistência térmica estrutural, em consonância com sua composição lipídica e com os resultados obtidos nos ensaios físico-químicos. Além disso, esses achados auxiliam na interpretação da limitação observada no teste TESTO para essa matriz, uma vez que métodos extremamente acelerados podem não refletir adequadamente a estabilidade térmica intrínseca de óleos ricos em ácidos graxos saturados.

4.8.3. Teste de estabilidade oxidativa acelerada (TESTO)

A estabilidade oxidativa do óleo da polpa foi avaliada pelo método TESTO em três temperaturas (100, 150 e 200 °C), possibilitando a determinação do tempo de indução à oxidação (Tabela 9). Observou-se que o tempo de indução diminuiu progressivamente com o aumento da temperatura, evidenciando a aceleração das reações oxidativas sob condições térmicas mais severas, comportamento típico de óleos com maior grau de insaturação (CHAIYASIT et al., 2007). O óleo da amêndoa não pôde ser avaliado pelo TESTO, mesmo em temperaturas relativamente baixas, como 50°C, uma vez que o equipamento atingiu rapidamente o limite máximo de tempo de análise, acionando o alarme de segurança.

Tabela 9 – Tempo de indução à oxidação do óleo da polpa de *A. aculeatum* pelo TESTO

Temperatura (°C)	Tempo de indução (min)
100	285 ± 5
150	70 ± 3
200	35 ± 2

Resultados expressos como média ± desvio padrão.

Esse comportamento não indica baixa estabilidade oxidativa; ao contrário, reflete uma limitação do método TESTO para matrizes lipídicas altamente saturadas. Métodos extremamente acelerados tendem a apresentar restrições na avaliação de óleos ricos em ácidos graxos saturados, uma vez que a ausência de ligações duplas retarda significativamente a formação de produtos de oxidação detectáveis pelo equipamento (SYMONS; KING, 1996).

Resultados obtidos por métodos complementares, como índice de peróxidos, ensaio Rancimat e estabilidade em estufa, indicaram maior resistência oxidativa do óleo da amêndoa em comparação ao óleo da polpa. Esse comportamento é consistente com o menor grau de insaturação e a predominância de ácidos graxos saturados, características que conferem maior estabilidade oxidativa em condições moderadas de processamento e armazenamento. Em contraste, o óleo da polpa, apesar do maior teor de antioxidantes naturais, apresentou maior susceptibilidade à oxidação em temperaturas elevadas, como evidenciado no ensaio TESTO (RAMALHO; JORGE, 2006).

Dessa forma, os resultados demonstram que a estabilidade oxidativa dos óleos está fortemente condicionada ao método analítico empregado, bem como à interação entre composição lipídica e presença de antioxidantes naturais, reforçando a necessidade do uso de abordagens complementares para uma avaliação mais abrangente da estabilidade oxidativa.

5. CONCLUSÃO

Os óleos extraídos da polpa e da amêndoa de *Astrocaryum Aculeatum* apresentaram perfis lipídicos distintos, que influenciaram diretamente sua estabilidade oxidativa. O óleo da polpa apresentou maior teor de ácidos graxos insaturados (66,8%), refletindo-se em maior tempo de indução no ensaio rancimat (20,47 h), indicando elevada resistência à oxidação sob condições aceleradas. O óleo da amêndoa caracterizou-se pela predominância de ácidos graxos saturados (91,3%), com destaque para o ácido láurico (54,2%), além de apresentar maior estabilidade térmica segundo análise por DSC e maior resistência à oxidação no ensaio de estufa. Os índices de acidez, peróxidos, iodo e saponificação permaneceram dentro dos parâmetros de qualidade para óleos vegetais obtidos por prensagem mecânica, evidenciando a integridade das amostras e a adequação do processo de extração.

A comparação entre os métodos analíticos demonstrou que a avaliação da estabilidade oxidativa depende tanto da composição lipídica quanto do princípio metodológico empregado, reforçando a importância da abordagem multifatorial adotada.

De forma integrada, os resultados confirmam o potencial tecnológico dos óleos de tucumã para aplicações alimentícias, cosméticas e em sistemas lipídicos estruturados, contribuindo para a valorização sustentável da biodiversidade amazônica.

REFERÊNCIAS

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. *Official Methods and Recommended Practices*; 4th ed.; AOCS: Champaign, IL, USA, 1990.

AMORIM, A. G. N.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, S. H. Effects of diets enriched with oleic and linoleic acids on lipid profile and oxidative stress in humans: a systematic review. *Food Research International*, v. 141, p. 110088, 2021.

ARAÚJO, J. M. A. *Química de alimentos: teoria e prática*. 4. ed. Viçosa: UFV, 2008.

BARBOSA, L. C. A. et al. Physicochemical characterization of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) almond oil from the Amazon. *Food Chemistry*, v. 115, p. 1028–1034, 2009.

BARBOSA JR., J. R.; SILVA, A. M.; SANTOS, F. G. Caracterização química do óleo de tucumã. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 2, p. 450–456, 2009.

BJERMO, H.; IGGMAN, D.; KULLBERG, J.; DAHLMAN, I.; JOHANSSON, L.; PERSSON, L.; BERGLUND, L.; VESSBY, B.; RISÉRUS, U. Effects of omega-6 and omega-9 fatty acids on blood lipids and lipoproteins in humans: a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 95, n. 1, p. 53–61, 2012.

BRASIL. Farmacopeia Brasileira. 5ª Ed, v. 2 / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa, 2010. 546p.

CARDOSO, C. A. L.; DE CASTRO, T. L. A.; GONELI, A. L. D.; VERDAN, M. H. Chemical composition and photoprotective potential of aqueous extract from *Casearia*

sylvestris var. lingua (Cambess.) Eichler leaves. *Orbital: Electron. J. Chem.* 2022, 89-94. DOI: 10.17807/orbital.v14i2.15578.

CHAIYASIT, W.; ELIAS, R. J.; MCCLEMENTS, D. J.; DECKER, E. A. *Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007.

CHOE, E.; Min, D. B. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 5, p. 169–186, 2006.

COSTA, M. M. Influência de fatores climáticos na composição lipídica de frutos tropicais. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 39, n. 4, p. 320–328, 2015.

DAYRIT, F. M. The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 92, p. 1–15, 2015.

DEONARINE, A.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, S. H. Mechanical extraction of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) oil: yields and fatty acid profile. *Journal of Food Science and Technology*, v. 60, p. 1123–1132, 2023.

FRANKEL, E. N. *Lipid oxidation*. 2. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005.

GALLO, L. et al. Influence of spray-drying operating conditions on extract powder physical properties. *Powder Technology*, v. 208, p. 205–214, 2011.

GUEDES, J. M. Extraction techniques for oils from Amazonian fruits: a review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 83, p. 559–567, 2006.

Guillén, M. D.; Cabo, N. Usefulness of the frequency data of the Fourier transform infrared spectra to evaluate the degree of oxidation of edible oils. *J. Agric. Food Chem.* 1999, 47 (2), 709-719. DOI:10.1021/jf9808123.

GUNSTONE, F. D. *Fatty acid and lipid chemistry*. London: Blackie Academic, 2005.

GUNSTONE, F. D. *Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses*. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JORGE, A. F.; LUZIA, D. P. Propriedades físico-químicas de manteigas vegetais tropicais. *Alimentos e Nutrição*, v. 23, n. 3, p. 145–152, 2012.

LUCIEDRY, M. S.; CARVALHO, L. M. S.; PESSINE, M. L.; SOUZA, P. T.; BATISTA, E. A. C.; SOUZA, T. P.; AGUIAR, A. C.; MARTÍNEZ, J. Supercritical fluid extraction of oil from spent tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) peel. *Food Research International*, v. 221, p. 117499, 2024.

MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. A.; CARREIRA, L. M. M. Aroma Volatile Constituents of Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) Fruit. *J. Braz. Chem. Soc.* 2014, 25 (1), 143–147. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20130263>.

MANCINI-FILHO, J.; NOVELLO, D.; LIMA, G. P. P.; et al. Fatty acid profile of tucumã. *Journal of Food Science*, v. 86, p. 2045–2052, 2021.

MANCINI-FILHO, J.; SALVADOR, M. Desamparados; FREGAPANE, G. *Comparative Study of Virgin Olive Oil Behavior under Rancimat Accelerated Oxidation Conditions and Long-Term Room Temperature Storage*. *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55 (20), 8231-8236. DOI: 10.1021/jf070915y.

MARINA, A. M.; CHE MAN, Y. B.; AMIN, I. Chemical properties of virgin coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 86, p. 301–307, 2009.

MESQUITA, K. S. S.; NASCIMENTO, R.; GUIMARÃES, R. C. A.; OLIVEIRA, M. E.; MONTEIRO, R. L. R.; SOARES, S. E. *Quality Changes of Amazonian Oils during Storage*. *Food Research International* 2018, 109, 464-472.

METROHM. *893 Professional Biodiesel Rancimat: Manual de Instruções*; Metrohm AG: Herisau, Suíça, 2011.

MIRANDA, A. F.; CUNHA, R. L.; MACEDO, J. F. C.; CARVALHO JÚNIOR, R. N. *Fatty Acid Profile and Oxidative Changes of Vegetable Oils from Amazon Palm Species*. *Journal of Food Science and Technology* 2019, 56 (12), 5223-5231.

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

MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. *Análise térmica de materiais*. São Paulo: Artliber, 2009.

NASCIMENTO, R. J.; ARAÚJO, M. E.; SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, V. S. Nutritional and antioxidant potential of tucumã pulp. *Food Research International*, v. 180, p. 113213, 2024.

OLIVEIRA, S. Avaliação do potencial tecnológico de óleos extraídos de amêndoas por métodos térmicos e físico-químicos. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Brasil, 2018.

PESCE, M. A. Extração de óleos vegetais de frutos amazônicos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, p. 523–530, 2009.

PINTO, A. C. Q.; SILVA, L. H. M.; RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, S. H. Characterization of tucumã oils. *Food Chemistry*, v. 338, p. 127762, 2021.

PONTES, T. S.; ALMEIDA, D. T.; MACIEL, L. F. *Evaluation of accelerated oxidation methods for vegetable oils rich in bioactive compounds*. *LWT - Food Sci. Technol.* 2021, 141, 110919.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. *Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos*. Química Nova, 2006.

RODRIGUES, A. M. C.; DARNET, S. H.; SILVA, L. H. M. Physical and nutritional characterization of tucumã (*Astrocaryum aculeatum*). *Acta Amazonica*, v. 45, n. 3, p. 299–306, 2015.

RODRIGUES-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. *Carotenoid content of foods: a guide for nutritionists*. Washington: ILSI Press, 2004.

SANTOS, J. C. O.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA, A. G. Thermal behavior and kinetic study of vegetable oils by TG/DTG and DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 75, p. 419–428, 2004.

SANTOS, M. F.; COSTA, T.; FARIAS, D. F.; MOURA, L. S. *Stability of Carotenoids and Antioxidant Activity of Amazonian Oils under Thermal Storage*. *Food Chemistry* 2020, 325, 126927.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 9, p. 345–381, 2018.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, v. 39, p. 4067–4079, 2010.

SILVA, C. A. A.; FIORUCCI, A. R.; GOMES, R. S.; CAIRES, A. R. L.; TRINDADE, M. A. Alternatives binary and ternary blends and its effects on stability of soybean biodiesel contaminated with metals. *Fuel*. 2017, 191, 275-282. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.11.080.

Souza, J. A.; Rodrigues, E. L.; Lima, M. S.; Santos, D. A.; Silva, D. D.; Oliveira, J. V.; Lima, J. S.; Costa, L. C.; Silva, A. P.; Oliveira, M. D.; et al. *Physicochemical Properties of Tucumã (Astrocaryum aculeatum) Powders with Different Carbohydrate Biopolymers*. *J. Agric. Food Chem.* 2017, 65 (22), 4758–4766. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02356>

Statsoft, Inc. Statistica (data analysis software system), versão 8.0, 2007. Disponível em: www.statsoft.com.

SYMONS, L. J.; KING, J. W. *Thermal degradation of triglycerides*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 1996.

TAN, C. P.; CHE MAN, Y. B. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: comparison of thermal properties and polymorphism. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 79, n. 11, p. 1133–1138, 2002.

Vasconcelos, B. E. C. *Avaliação das características físicas, químicas e nutricionais dos óleos do tucumã (*Astrocaryum aculeatum* e *Astrocaryum vulgare*) obtidos com CO₂ pressurizado*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

VISCARDI, M.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; SOUZA, A. L.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Gas chromatographic analysis of fatty acids. *Food Analytical Methods*, v. 5, p. 1021–1030, 2012.

CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar e comparar a estabilidade oxidativa dos óleos extraídos da polpa e da amêndoa de *astrocaryum aculeatum*, bem como caracterizar física, química e nutricionalmente essas frações, visando ampliar o conhecimento científico e o potencial tecnológico do fruto. A caracterização proximal evidenciou diferenças marcantes entre polpa e amêndoa. A polpa apresentou elevado teor lipídico (32,02 g/100 g), teor expressivo de carotenoides totais (62 µg/g), pH levemente ácido (5,11) e valor energético de 322,26 kcal/100 g, indicando potencial como ingrediente energético e fonte de compostos bioativos. Por sua vez, a amêndoa destacou-se pelo maior teor de fibras (40,46 g/100 g), conteúdo proteico superior (5,86 g/100 g), menor umidade (33,18 g/100 g) e valor energético de 208,27 kcal/100 g, evidenciando perfil nutricional complementar. A extração por prensagem mecânica permitiu a obtenção de óleos com parâmetros de qualidade adequados, apresentando índices de acidez, peróxidos, iodo e saponificação compatíveis com óleos vegetais destinados à aplicação tecnológica. O perfil de ácidos graxos revelou predominância de insaturação no óleo da polpa (66,8%), enquanto o óleo da amêndoa apresentou elevada concentração de ácidos graxos saturados (91,3%), com destaque para o ácido láurico (54,2%). Essas diferenças estruturais refletiram diretamente no comportamento oxidativo.

O óleo da polpa apresentou maior tempo de indução no rancimat (20,47 h), indicando maior resistência à oxidação sob condições aceleradas, enquanto o óleo da amêndoa demonstrou maior estabilidade térmica por DSC e maior resistência em ensaio de estufa. A aplicação integrada dos métodos rancimat, estufa, TESTO e DSC evidenciou que a estabilidade oxidativa não depende exclusivamente do grau de insaturação, mas também da composição específica dos ácidos graxos e do princípio

analítico empregado, reforçando a relevância da abordagem multifatorial adotada. De forma integrada, os resultados confirmam que as frações lipídicas do tucumã apresentam propriedades complementares e elevado potencial para aplicações alimentícias, cosméticas e em sistemas lipídicos estruturados. Além disso, o aproveitamento integral do fruto representa alternativa sustentável para agregação de valor à biodiversidade amazônica, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico e econômico regional.

Assim, a dissertação cumpre seus objetivos ao demonstrar, de maneira comparativa e fundamentada, a viabilidade tecnológica dos óleos de tucumã, ampliando as perspectivas de uso industrial e consolidando bases científicas para futuras aplicações e estudos de escalonamento.

**Apêndice A – Dados completos do TESTO para os óleos de tucumã
100 °C**

Tempo (min)	CPT1	CPT2	CPT3	Média ± DP
0	5	4,5	4,5	4,67 ± 0,29
15	5,5	5	5,5	5,33 ± 0,29
30	6,5	6	6,5	6,33 ± 0,29
45	7	7	6,5	6,83 ± 0,29
75	8	8	8	8,00 ± 0,00
105	10	10	10	10,00 ± 0,00
135	11	11,5	11	11,17 ± 0,29
165	12	12,5	12	12,17 ± 0,29
195	14,5	14,5	14,5	14,50 ± 0,00
225	16	16	16	16,00 ± 0,00
255	18	17,5	18	17,83 ± 0,29
285	20	19,5	20	19,83 ± 0,29
315	22,5	22,5	22	22,33 ± 0,29
345	25	25	25	25,00 ± 0,00

Tempo de indução estimado: 285 min (ponto de aumento acentuado na curva)

150 °C

Tempo (min)	CPT1	CPT2	CPT3	Média ± DP
10	9	9	9	9,00 ± 0,00
20	9	9	9	9,00 ± 0,00
30	10,5	10	10,5	10,33 ± 0,29
40	13	12,5	13,5	13,00 ± 0,41
50	13	13	13	13,00 ± 0,00
60	16	15,5	16	15,83 ± 0,29
70	17	16,5	17	16,83 ± 0,29
80	17	17	17	17,00 ± 0,00
90	19	19,5	18,5	19,00 ± 0,50
100	19,5	20	20	19,83 ± 0,29
110	22	22,5	22,5	22,33 ± 0,29
120	23	23	23	23,00 ± 0,00
130	25	25	25	25,00 ± 0,00

Tempo de indução estimado: 70 min (ponto de aumento acentuado na curva)

200 °C**Tempo (min) CPT1 CPT2 CPT3 Média ± DP**

0	8,5	8	8	8,17 ± 0,29
10	11	10,5	11	10,83 ± 0,29
20	12	12,5	12	12,17 ± 0,29
30	15	15,5	15	15,17 ± 0,29
40	17,5	18	18	17,83 ± 0,29
50	19	19	19,5	19,17 ± 0,29
60	21,5	22	22	21,83 ± 0,29
70	23,5	23	24	23,50 ± 0,50
80	26,5	25,5	26	26,00 ± 0,50

Tempo de indução estimado: 35 min (ponto de aumento acentuado na curva)