



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



MARIA CAROLINA CARVALHO SILVA

**IMPACTO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
DO MESOCARPO DE FRUTOS DE *Acrocomia* spp.**

ARARAS - 2025



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



MARIA CAROLINA CARVALHO SILVA

**IMPACTO DO TEMPO DE ARMAZENAMENTO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA
DO MESOCARPO DE FRUTOS DE *Acrocomia* spp.**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar
para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Evandro Henrique
Schinor

Coo-orientador: Ma. Cassia Regina
Limonta Carvalho

ARARAS – 2025

Ao Rui e Elcio (*in memoriam*), meu avô e pai, que em sua paixão pela natureza, me ensinaram a respeitar toda forma de vida. A simplicidade de vocês fez de mim esse ser crítico. Sem vocês, nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Roseli Carvalho, pela força e coragem de ser uma mãe solo, obrigada pelo amor e pelo suporte.

À minha companheira de vida, Andressa Paranhos, por todos os sonhos compartilhados a duas, este trabalho é a realização de um deles.

À Cássia Limonta, pela cooperação e dedicação constantes na orientação desta pesquisa; este trabalho seria apenas um esboço sem você.

Ao Dr. Carlos Augusto Colombo, por disseminar o conhecimento sobre a macaúba pelo mundo e por evidenciar seu grande potencial econômico e social.

Ao meu melhor amigo, Matheus Maggioni, que me acompanha e me ajuda desde o início da minha graduação.

Ao Laboratório de Fitoquímica, pelos ensinamentos e pelo espaço compartilhado para a realização das análises, principalmente à química Daniela Matsumoto, por toda paciência e ajuda nas análises.

À Fundação de Amparo à Pesquisa Agrícola (FUNDAG), pelo apoio financeiro.

Agradeço a todos que estiveram presentes de forma direta ou indireta na contribuição para a realização deste sonho. Meu, muitíssimo obrigada.

“O que a vida quer da gente é coragem”

Guimarães Rosa

RESUMO

O gênero *Acrocomia* tem se destacado em níveis nacional e internacional devido à sua alta capacidade produtiva e à variedade de aplicações de seus frutos. Entre as palmeiras oleaginosas, a macaúba é considerada uma das mais promissoras, oferecendo óleos de excelente qualidade na polpa e na amêndoa. Sua vasta distribuição na natureza, juntamente com sua alta produtividade, resistência e adaptabilidade a diversos ambientes, coloca a espécie como uma opção crucial para o estabelecimento de cadeias sustentáveis. Mesmo diante desse cenário positivo, a cadeia produtiva das espécies de *Acrocomia* ainda está em fase de desenvolvimento e carece de informações básicas que possam apoiar tanto o uso industrial de seus subprodutos quanto as estratégias de seleção e melhoramento genético. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo analisar e caracterizar as alterações químicas na composição centesimal da polpa de *A. aculeata*, híbridos e *A. totai* durante o período de 28 dias de armazenagem. Durante o trabalho foi assegurado de que todas as amostras estivessem em base seca para coleta dos dados de óleo, proteína, umidade, cinzas, açúcares (sacarose, glicose, frutose), amido e fibras. Esses dados foram analisados por meio da análise de variância, unifatorial, para ilustrar o padrão temporal das variáveis químicas em diversos genótipos, utilizando ferramenta de suavização não paramétrica, do software R. Observou-se uma semelhança entre os genótipos nas análises de óleo, proteína, umidade e cinzas. Já nos açúcares e carboidratos, a *A. aculeata* e os híbridos apresentaram uma inversa entre a perda de amido e fibra e o ganho de óleo, sacarose, glicose e frutose, enquanto na *A. totai* amido e fibra que se mantiveram durante o armazenamento, enquanto o óleo, sacarose, glicose e frutose mostraram sutis variações. Conclui-se que os resultados evidenciaram que os grupos genéticos tiveram comportamentos fisiológicos distintos, assim demonstram que a composição centesimal dos frutos de *Acrocomia* spp. é influenciada pelo material genético, e tempo de armazenamento.

Palavras-chave: *Acrocomia totai*, *Acrocomia aculeata*, híbridos; macaúba; composição centesimal.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Massa da polpa (g) e massa total (g) dos frutos dos genótipos de macaúba ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.24
- Figura-2.** Teor de umidade dos mesocarpos dos frutos ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.....25
- Figura-3.** Teor de óleo dos mesocarpos ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.....28
- Figura-4.** Cinzas, proteínas e umidade residual ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.....30
- Figura 5 .** Frutose, glicose e sacarose ao longo dos dias de armazenamento; sendo o da *A. aculeata*: L6A3P3 e L9A19P1; Híbridos: L11A45P1 e L5A46P2; *A. totai* -: L11A35P1 e L11A37P1.....31
- Figura 6.** Carboidratos (amido e fibra) ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.....33
- Figura 7.** Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos genótipos de *A. aculeata* em comparação ao dia zero aos demais dias34
- Figura 8.** Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos híbridos em comparação ao dia zero aos demais dias.....35

Figura 9. Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos genótipos de *A. totai* em comparação ao dia zero aos demais dias.....37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos da espécie *A. aculeata* ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.26

Tabela 2. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos híbridos de macaúba ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.26

Tabela 3. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos da espécie *A. totai* ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.27

Tabela 4. Diferença percentual nos teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L6A3P3 e L9A19P1 de *Acrocomia aculeata* ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero e demais dias.....35

Tabela 5. Diferença percentual nos teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L11A45P1 e L5A46P2 de híbrido ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero e demais dias.....36

Tabela 6. Diferença percentual nos teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L11A37P1 e L11A35P1 de *Acrocomia totai* ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero.e demais dias.....37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Gênero <i>Acrocomia</i>	13
2.2. <i>Acrocomia aculeata</i>	13
2.3. <i>Acrocomia totai</i>	14
2.4. Híbridos de <i>Acrocomia</i>	14
2.5. Morfologia do fruto	14
2.6. Composição Química	15
3 OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo geral	15
3.2. Objetivos específicos	15
4 MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Local do estudo	16
4.2. Material vegetal	16
4.3. Procedimento de coleta e armazenamento inicial	17
4.4. Processamento das amostras	17
4.5. Teor de Óleo	18
4.6. Proteína Bruta	18
4.7. Umidade Residual	19
4.8. Determinação de Cinzas	19
4.9. Determinação dos Açúcares	20
4.9.1. Preparo das amostras	20
4.9.2. Extração dos açúcares	20
4.9.3. Análise cromatográfica	21
4.9.4. Cálculo dos carboidratos totais e amido e fibras	21
4.10. Análises estatísticas	21
4.10.1. Organização dos dados	21
4.10.2. Análise de variância (ANOVA)	22
4.10.3. Teste de agrupamento de médias: Scott-Knott	22

4.10.4. Suavização das curvas nos gráficos	22
4.10.5. Softwares e pacotes utilizados	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Massa total dos frutos e massa da polpa	23
5.2. Teor de umidade dos mesocarpos mensurado após os períodos de armazenamento	24
5.3. Composição centesimal dos mesocarpos durante os tempos.....	26
5.4. Teor de óleo	27
5.5. Teor da umidade residual, cinzas e proteína bruta	29
5.6. Açúcares	30
5.7 Outros carboidratos: fibras mais amido	32
5.8. Relação das diferenças dos componentes no tempo de armazenamento	33
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Dentro do gênero *Acrocomia* spp, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e *Acrocomia totai* Mart., são duas importantes espécies de palmeiras oleaginosas americanas com aplicações promissoras nas indústrias de energia, alimentos e farmacêutica. A espécie apresenta maior densidade em ambientes abertos, especialmente em áreas de pastagens, florestas semidecíduas e regiões com afloramentos rochosos, ocorrendo de forma ampla em toda a América tropical e subtropical (LORENZI, 2004; MOTOIKE *et al.*, 2009).

A frutificação das espécies ocorre ao final da estação seca e ao longo da estação chuvosa, os frutos levam de 12 a 14 meses para amadurecer, sucedendo entre setembro e janeiro (CARVALHO *et al.*, 2025). Os cachos estão constituídos de frutos globosos, tipo drupa, constituídos por cerca de 20% de epicarpo (casca), 40% de mesocarpo (polpa), 33% de endocarpo (tegumento) e 7% de semente (amêndoa). Quando maduros, os frutos liberam um aroma característico e a casca se desprende facilmente da polpa (MONTROYA, 2013).

Os principais produtos das palmeiras são os óleos extraídos da polpa e da amêndoa dos frutos. A polpa pode conter até 75% do conteúdo total de lipídios e a amêndoa pode conter até 65%, ambos em base seca. Os frutos também são ricos em fibras alimentares (TOLEDO E SILVA *et al.* 2022) e contêm outros componentes em menor proporção como tocoferóis, fitoesteróis, carotenoides e flavonoides. Entre os ácidos graxos mais importantes da fração oleosa estão o ácido oleico, com teor de 70%, seguido pelo ácido palmítico e linoleico (BERTON, 2013; COLOMBO *et al.* 2018).

O óleo de *A. aculeata* (macaúba) tem sido tradicionalmente usado nas indústrias de sabão e cosméticos do Brasil, enquanto o mesocarpo dos frutos de *A. totai* (bocaiúva) é utilizado por comunidades indígenas do Pantanal Mato Grossense para produzir farinha para diversos fins culinários (CARVALHO *et al.*, 2025).

Devido às suas rusticidades, as palmeiras podem crescer em solos marginais, sendo adequadas para sistemas de consórcio e agroflorestais, com produção média de 2500kg de óleo por hectare por ano, ou até 5000kg de óleo por hectare por ano para genótipos selecionados (COLOMBO *et al.* 2018), mostrando, assim, uma

produtividade de óleo superior à de muitas oleaginosas, como canola, amendoim, soja e girassol (BERTON, 2013).

Por esses motivos, as espécies têm despertado interesse de cientistas e agrônomos brasileiros e de outros países da América Latina, impulsionando a implantação de bancos de germoplasma para estudo e conservação do material genético. Apesar do seu potencial, as espécies têm sua exploração comercial ainda reduzida, pois encontra-se em processo de domesticação, existindo ainda muitos desafios a serem superados para a estruturação da sua cadeia produtiva, principalmente como fonte de óleo e biomassa (DOMICIANO *et al.*, 2015).

Poucos estudos foram realizados sobre a síntese de acúmulo de óleo na macaúba (MAZZOTINNI-DOS-SANTOS *et al.*, 2015; MONTOYA *et al.* 2016). O amadurecimento dos frutos é lento e visualmente não perceptivo. A composição dos mesocarpos depende do ponto de maturação, que por sua vez, influencia a composição dos ácidos graxos do óleo e as características físico-químicas da polpa, comprometendo seu uso na produção de biodiesel e de outras aplicações (EVARISTO *et al.*, 2016). Quando verde, o mesocarpo é muito rico em umidade e pobre em óleo, portanto, em ácidos graxos (SOUZA, 2013).

Há alguns relatos na literatura de que os frutos de macaúba ao serem armazenados em temperatura ambiente, geralmente apresentam incremento no teor de óleo (SOUZA, 2013; MARTINS. 2013; FRANCO, 2024). Goulart (2014) avaliou o padrão respiratório e de evolução de etileno de frutos de macaúba colhidos com diferentes idades e mantidos em temperatura ambiente por 30 dias, após aplicação de acetileno. Embora não tenha conseguido antecipar o amadurecimento dos frutos, o autor relata que os padrões de evolução de CO₂ e de etileno encontrados para os frutos durante o estudo foram compatíveis com os padrões de frutos climatéricos.

Porém, pouco se sabe sobre os componentes químicos de mesocarpos de frutos, quando armazenados em condições ambientais, a não ser os parâmetros relacionados à qualidade do óleo extraído, como o próprio teor de lipídios, índice de acidez, estabilidade oxidativa e o perfil de ácidos graxos dos acessos. Avaliar esse aumento de óleo após a colheita é interessante do ponto de vista industrial, já que representa um ganho econômico, resultante de um manejo e tecnologia pós-colheita a serem aprimorados. Informações detalhadas que permitam avaliar o acúmulo de reservas e associá-las com o ponto ideal de colheita são lacunas que precisam ser

preenchidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Gênero *Acrocomia*

O gênero *Acrocomia* é encontrado em toda a América Latina, desde o norte do México até o sul do Brasil. Esse gênero vegetal tem atraído considerável interesse, tanto no âmbito científico quanto no tecnológico, em virtude de seu potencial na produção de óleo, bem como por sua rusticidade e capacidade de adaptação às mudanças ambientais (COLOMBO *et al.*, 2025).

Em geral, as espécies desse gênero apresentam uma elevada produção de óleo tanto na polpa quanto na amêndoa, o que coloca *Acrocomia* entre as oleaginosas nativas mais promissoras para uma produção sustentável de biocombustíveis, alimentos, cosméticos e insumos industriais (CICONINI *et al.*, 2013).

Contudo, a exploração sempre ocorreu de maneira extrativista, o que torna impede a padronização e aproveitamento total do seu potencial. As recentes progressões nas áreas de domesticação, caracterização biológica, genética e química têm sido essencial para o estabelecimento de uma cadeia produtiva organizada (COLOMBO *et al.*, 2025).

2.2. *Acrocomia aculeata*

Acrocomia aculeata é vista como uma palmeira dinâmica nas regiões tropicais e subtropicais das Américas. Possui alta produtividade de óleo na polpa e na amêndoa, tornando-a diferente de outras espécies nativas (CICONINI *et al.*, 2013). A polpa é rica em ácido oleico, o que confere ao óleo extraído uma grande estabilidade oxidativa com grande potencial para produção de biodiesel e de outros bicompostíveis como bioquerosene, além de uma vasta gama de outras aplicações industriais, particularmente nos setores alimentar, farmacêutico e cosmético (SÁ *et al.*, 2019). Diferentemente, a amêndoa é rica em lipídios láuricos, o que a assemelha ao óleo de coco e ao óleo de palmiste, e por isso é de grande interesse para as indústrias de higiene pessoal e cosméticos (COLOMBO *et al.*, 2019).

Para além da composição química, as características agronômicas que se

destacam são a rusticidade, a longevidade, a tolerância à falta de água e a alta produtividade por hectare. Essas particularidades tornam sua utilização ainda mais apropriada em sistemas de produção sustentáveis e como opção para regiões com baixa aptidão agrícola (LIMA *et al.*, 2015).

2.3. *Acrocomia totai*

Suas principais áreas de ocorrência são Bolívia, Paraguai, Argentina e regiões do Centro-Oeste brasileiro. Embora tenha similaridade morfológica com *A. aculeata*, as duas espécies divergem significativamente: frutos menores, casca mais fina e geralmente menor teor lipídico (FLORES; MIYAMOTO; COLMÁN, 2013).

E ainda assim, é extremamente lucrativa. Sua diversidade genética e características morfométricas da espécie são importantes para estratégias de melhoramento, em particular para cruzamentos com *A. aculeata* (CARVALHO *et al.*, 2025). Conseqüentemente, *A. totai* foi reconhecida como um recurso genético estratégico para melhoria do gênero *Acrocomia* domesticado.

2.4. Híbridos de *Acrocomia*

Híbridos entre *A. aculeata* e *A. totai* foram reportados em áreas de sobreposição natural. Os híbridos *A. aculeata* e *A. totai* apresentam características que são intermediárias ou até melhores do que as das espécies originais, tanto em relação à morfologia dos frutos quanto à composição química e ao vigor vegetativo (LIMA *et al.*, 2018).

A presença de híbridos é extremamente importante para os programas de melhoramento genético, já que essa variabilidade pode trazer materiais com desempenho produtivo superior, resistência aprimorada a fatores ambientais e maior estabilidade fenotípica. A identificação de híbridos é, portanto, um desafio que se deve à proximidade genética entre as espécies, o que exige o uso de marcadores moleculares e abordagens integradas para uma distinção clara (COLOMBO *et al.*, 2019).

2.5. Morfologia do fruto

As drupas provenientes de espécies do gênero *Acrocomia* apresentam, do ponto de vista estrutural, as seguintes camadas: epicarpo (casca externa), mesocarpo

(polpa), endocarpo (camada lignificada) e amêndoa (semente). A morfologia é parecida entre *A. aculeata*, *A. totai* e seus híbridos, mas as camadas podem ter espessura e proporção muito diferentes entre as populações (HENDERSON; GALEANO; BERNAL, 1995).

O mesocarpo é a fração oleaginosa que mais contribui para o óleo extraído. Por sua vez, o endocarpo, que é muito duro, protege a amêndoa, que tem uma composição química distinta e é rica em lipídios láuricos. A espessura do mesocarpo, o tamanho do fruto e o peso da amêndoa são características morfológicas do fruto que afetam o rendimento de óleo e a viabilidade industrial, o que as torna importantes em pesquisas agronômicas e de seleção (LIMA *et al.*, 2015).

2.6. Composição Química

O conteúdo químico das espécies de *Acrocomia* muda conforme o ambiente, o grau de maturação e as variações genéticas entre as populações. A polpa é rica em lipídios, podendo ultrapassar 40% da matéria seca em *A. aculeata*, além de ser composta por carboidratos, fibras alimentares, proteínas e cinzas (SANT'ANA *et al.*, 2025).

O óleo extraído da polpa é majoritariamente ácido oleico, conferindo características vantajosas para aplicações industriais em biocombustíveis, alimentos e cosméticos (COLOMBO *et al.*, 2019). Por outro lado, o farelo obtido da extração do óleo, tanto da polpa quanto da amêndoa, possui potencial para aplicação em diversos setores, incluindo ração animal e formulações biotecnológicas (LIMA *et al.*, 2015).

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Investigar as alterações químicas e a dinâmica da composição centesimal do mesocarpo em frutos de diversos genótipos e espécies do gênero *Acrocomia* ao longo do armazenamento, ao longo de 28 dias de armazenamento.

3.2. Objetivos específicos

Medir a composição centesimal ao longo do tempo;

Quantificar as variações de amido e fibra ao longo do armazenamento, comparativamente ao óleo, sacarose, glicose e frutose.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do estudo

As avaliações do presente estudo iniciaram-se em novembro de 2024, com a coleta de frutos de seis plantas de macaúba pertencentes ao banco de germoplasma do Instituto Agrônomo (IAC), localizado na Fazenda Santa Elisa, no município de Campinas, estado de São Paulo, aproximadamente a 22°52' S e 47°04' W, a uma altitude média de 669 m, em região caracterizada por clima tropical com estação seca no inverno, segundo a classificação de Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013).

O clima local apresenta verões quentes e chuvosos, invernos mais amenos e secos, com precipitação média anual variando entre 1 400 e 1 460 mm, concentrada principalmente entre os meses de outubro e março (IAC, 2024). As temperaturas médias anuais situam-se em torno de 22 °C, com temperaturas máximas médias próximas de 30 °C nos meses mais quentes e temperaturas mínimas médias entre 12 e 14 °C nos meses mais frios (IAC, 2024). Os solos predominantes na área experimental do IAC são majoritariamente Latossolos de textura média a argilosa, profundos e bem drenados, amplamente utilizados em atividades de pesquisa agrícola devido à sua boa estrutura física e fertilidade natural (IAC, 2024). Após a coleta, os frutos foram armazenados e avaliados no Laboratório de Fitoquímica da Divisão de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Genéticos Vegetais do IAC, localizado no mesmo município.

4.2. Material vegetal

Os frutos foram coletados de forma aleatória a partir de seis genótipos, sendo dois de *Acrocomia aculeata*: Linha 6 Acesso 3 Planta 3 (L6A3P3) e Linha 9 Acesso 19 Planta 1 (L9A19P1); dois híbridos naturais: Linha 11 Acesso 45 Planta 1 (L11A45P1) e Linha 5 Acesso 46 Planta 2 (L5A46P2); e dois de *Acrocomia totai*: Linha 11 Acesso 37 Planta 1 (L11A37P1) e Linha 11 Acesso 35 Planta 1 (L11A35P1).

Cada cacho das plantas selecionadas foi previamente envolto em um saco plástico em forma de rede, permitindo, assim, que a colheita ocorresse somente após a abscisão natural, assegurando a maturação completa dos frutos.

4.3. Procedimento de coleta e armazenamento inicial

Após a colheita do cacho, foram separados aleatoriamente 9 frutos por genótipo. Esses frutos foram numerados, pesados e imediatamente congelados em freezer a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, marcando o início do experimento, portanto, constituindo o dia zero. Os frutos remanescentes foram mantidos em estufa com circulação forçada de ar em uma temperatura constante de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Em intervalos regulares de sete dias, novos conjuntos de 9 frutos eram retirados, numerados, pesados e congelados. Esse procedimento totalizou 28 dias, sendo o tempo demarcado da seguinte forma: 0 dias; 7 dias; 14 dias; 21 dias e 28 dias, sendo o dia 0 equivalente ao dia da coleta e os dias consecutivos referente ao tempo de armazenagem na estufa.

4.4. Processamento das amostras

Após a pesagem e congelamento dos frutos em todos os tempos, eles foram despolidos com o auxílio de um bisturi, e apenas a massa do mesocarpo foi registrada. O mesocarpo dos frutos foi armazenado em sacos plásticos com fechamento zipado e colocados novamente ao freezer a uma temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. De cada conjunto de 9 frutos coletados por tempo, 6 foram selecionados de forma randômica para despolda e destinados às análises químicas; os outros 3 frutos foram mantidos inteiros e congelados como amostras reserva para o caso de serem necessárias análises complementares.

No início das análises físico-químicas, foram padronizadas para base seca as seis amostras despolidas. A secagem foi realizada de acordo com as orientações dos métodos clássicos de secagem em análises de alimentos (AOAC, 2000; IAL, 2008). O mesocarpo foi pesado em placas de Petri, colocado em bandejas de alumínio e submetido à secagem em estufa com circulação de ar forçado a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Inicialmente, as amostras permaneceram na estufa por 3 horas, sendo então pesadas e devolvidas ao equipamento por mais 1 hora. Esse procedimento foi repetido até que a variação entre as pesagens fosse inferior a $0,5\text{ mg}$, assegurando a remoção completa da umidade livre.

Após atingir a base seca, as amostras foram trituradas em moinho analítico (IKA, A11 Basic) até obtenção de partículas homogêneas. Em seguida, foram armazenadas em recipientes fechados, agrupadas duas a duas, totalizando assim três amostras para a realização das análises químicas.

4.5. Teor de Óleo

A determinação do teor de óleo foi realizada por espectrofotometria no infravermelho próximo (NIRS), utilizando amostras de polpa desidratadas e moídas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro FOSS NIRSystems 6500, empregando cela de 48 × 58 mm e mantendo a temperatura de operação entre 20 e 22 °C. Os espectros foram obtidos com resolução de 2 nm e registrados pelo software ISScan™, versão 3.10 (Infrasoft International, 2007), na faixa de 1100 a 2498 nm, com os sinais expressos em $\log(1/R)$.

A determinação da porcentagem de óleo foi realizada por meio de uma curva de calibração específica para o teor de óleo da macaúba, elaborada com métodos PLS/NIRS dentro do Programa de Melhoramento de Macaúba do IAC, conforme descrito por (BITTENCOURT *et al.*, 2016).

4.6. Proteína Bruta

A determinação da proteína bruta foi realizada pela quantificação do teor de nitrogênio, utilizando o método de Dumas, (CENCI *et al.* 2020). As análises foram realizadas com um analisador elementar VELP, modelo NDA 701. Em cada caso, o mesocarpo seco e moído foi incinerado em uma atmosfera de oxigênio puro, garantindo a completa oxidação de todos os compostos orgânicos.

Os gases gerados na reação: dióxido de carbono (CO₂), vapor d'água (H₂O) e nitrogênio (N₂) foram transportados por hélio de alta pureza até o detector do aparelho, onde o N₂ foi quantificado por meio de detecção por condutividade térmica. A partir do teor de nitrogênio obtido, calculou-se o teor de proteína bruta utilizando-se o fator de conversão 6,25. Com isso, os resultados foram apresentados como porcentagem de proteína bruta na matéria seca.

4.7. Umidade Residual

Os cadinhos com as amostras foram levados à estufa com circulação de ar a 65 °C, onde permaneceram em aquecimento *overnight*. Em seguida, a temperatura foi aumentada para 105 °C, permanecendo por 1 hora. Após esse período, os cadinhos foram pesados novamente após serem resfriados em dessecador. Esse processo de secagem, resfriamento e pesagem foi repetida até a obtenção de massa constante.

A porcentagem de umidade (U%) foi calculada pela Equação (1):

$$U(\%) = \frac{MF - MS}{MF} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

MF= massa fresca inicial da amostra (g);

MS = massa seca após secagem (g).

4.8. Determinação de Cinzas

Para a determinação do teor de cinzas, as mesmas amostras que foram previamente submetidas ao ensaio de umidade foram utilizadas. Essas amostras foram inicialmente carbonizadas em chapa aquecedora a fim de evitar perdas por volatilização. Em seguida foram incineradas em mufla a 350 °C, até a completa eliminação da matéria orgânica, conforme metodologia descrita por Zenebon *et al.* (2008).

Após a incineração, os cadinhos foram resfriados em dessecador e então pesados. O teor de cinzas foi calculado de acordo com a Equação (2):

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{(M_{\text{cad+cinza}} - M_{\text{cad}})}{M_{\text{amostra}}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$M_{\text{cad+cinza}}$ = massa do cadinho com cinzas (g);

M_{cad} = massa do cadinho vazio (g);

M_{amostra} = massa inicial da amostra (g).

4.9. Determinação dos Açúcares

A determinação da quantidade de açúcares nos mesocarpos seguiu um método adaptado de Shanmugavelan *et al.* (2013), sendo que todas as análises foram feitas em duplicata.

4.9.1. Preparo das amostras

Foi realizada a pesagem de 0,250 g de mesocarpo seco e moído em tubos Falcon de 50 mL. Devido à elevada concentração de óleo presente na polpa de macaúba, as amostras foram desengorduradas com a adição de 10 mL de éter de petróleo (30 °C – 60 °C), realizando-se a extração dos lipídios em uma mesa agitadora orbital por 20 minutos, seguida pela centrifugação das soluções (HETTICH, modelo Rotina 380R) a 16.098 x g, por 10 minutos, à temperatura de 4 °C, com descarte dos sobrenadantes. Esse procedimento foi executado três vezes, sendo esta etapa essencial para evitar interferências lipídicas na extração e na detecção cromatográfica dos carboidratos.

4.9.2. Extração dos açúcares

Às amostras desengorduradas foram adicionados 10 mL de etanol 80%. Os tubos foram agitados em uma mesa agitadora orbital (UNIQUE, modelo USC 1450) por 16 horas a 35 °C, para facilitar a extração dos açúcares solúveis. Após esse período, as amostras foram centrifugadas a 16.098 × g, por 10 minutos, a 4 °C (HETTICH, modelo Rotina 380R). O sobrenadante obtido foi transferido para um novo tubo Falcon de 15 mL.

O resíduo sólido resultante foi submetido a nova extração, adicionando-se 5 mL de etanol 80% e mantido na mesa agitadora orbital por mais 1 hora e a centrifugação nas mesmas condições. Os sobrenadantes da primeira e da segunda extração foram combinados e o volume final ajustado para 20 mL com etanol a 80%.

Dessa solução combinada, foram retirados 5 mL, transferidos para um balão de fundo chato de 250 mL e evaporados em um evaporador rotativo (BUCHI Waterbath B-480) a 70 °C sob pressão reduzida, até que todo solvente fosse removido. O resíduo seco foi ressuspenso em água ultrapura e transferido para um balão volumétrico de 10 mL.

4.9.3. Análise cromatográfica

A solução contendo os açúcares extraídos, após filtração (PTFE 0,45µm), foi injetada em volumes que variaram de 05 µL a 20 µL em um sistema de cromatografia líquida de alta eficiência (Agilent 1260 Infinity), equipado com detector por espalhamento de luz evaporativo (ELSD, Agilent 1260 Infinity – G4260B). A separação cromatográfica foi realizada em coluna de troca iônica Agilent Hi-Plex H (7,7 × 300 mm; 8 µm), protegida por pré-coluna PL Hi-Plex H (5 × 3 mm) (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA).

A fase móvel consistiu em água ultrapura, com fluxo de 0,8 mL/min, e tempo de corrida de 10 minutos. A temperatura do forno da coluna foi mantida em 40 °C. As condições do detector ELSD foram: temperatura de evaporação de -90 °C, nebulizador a - 40 °C; fluxo de N₂ a 1,2 SLM e ganho PMT - 3.

O processamento dos dados foi realizado no software OpenLAB CDS ChemStation Edition (Agilent Technologies, Santa Clara - EUA). A identificação e a quantificação dos açúcares foram obtidas por meio da comparação com padrões externos de glicose, frutose e sacarose.

4.9.4. Cálculo dos carboidratos totais e amido e fibras

Os carboidratos totais foram calculados pela diferença entre 100% e a soma das porcentagens de umidade, proteína, teor de óleo cinzas. A fração de amido e fibras foram determinadas pela diferença entre os carboidratos totais e a soma dos açúcares solúveis quantificados (glicose, frutose e sacarose).

4.10. Análises estatísticas

4.10.1. Organização dos dados

Os dados referentes às características físico-químicas da polpa dos frutos de *Acrocomia aculeata*, *A. totai* e híbridos naturais foram organizados em planilhas, contendo as repetições, tempos de armazenamento (0, 7, 14, 21 e 28 dias) e os valores individuais de cada variável: umidade, cinzas, proteínas, lipídios totais (óleo), sacarose, glicose, frutose e carboidratos (amido + fibras). Para cada genótipo, os valores foram transformados para base seca quando necessário, a fim de permitir comparações consistentes entre os tempos avaliados.

4.10.2. Análise de variância (ANOVA)

Para cada variável físico-química e cada genótipo, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) unifatorial, com o tempo de armazenamento como fator fixo, em cinco níveis (0 dias, 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias). Para verificar se as médias dos tempos de cada variável analisada apresentavam diferenças significativas, foi utilizada a ANOVA. O teste F foi utilizado para avaliar a significância do efeito do tempo, com um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

4.10.3. Teste de agrupamento de médias: Scott-Knott

Quando a ANOVA apontou diferenças significativas entre os períodos, foram comparadas as médias utilizando o teste de agrupamento Scott-Knott com um nível de significância de 5%, sendo um teste que se adapta aos ensaios com vários tratamentos, evitando a criação de grupos muito pequenos, comum em estudos agronômicos.

4.10.4. Suavização das curvas nos gráficos

Para ilustrar o padrão temporal das variáveis físico-químicas analisadas em diversos genótipos de Acrocomia, utilizou-se uma técnica de suavização não paramétrica, gerada pela função (`geom_smooth`) do pacote `ggplot2` do software R. Empregou-se o método LOESS (Smoothing Locally Weighted Scatterplot), que faz regressões locais para cada grupo, permitindo detectar padrões não lineares de forma flexível, sem a exigência de uma forma funcional pré-estabelecida (CLEVELAND, 1979).

As linhas do gráfico representam as tendências que o modelo LOESS estimou, enquanto as áreas sombreadas correspondem aos intervalos de confiança (95%) que foram gerados automaticamente pela função.

4.10.5. Softwares e pacotes utilizados

Todos os testes estatísticos e os gráficos foram gerados no software R (versão 2025.9.0), com os pacotes: `ggplot2` (Wickham, 2016) para criação de gráficos e suavização LOESS; `agricolae` para teste Scott-Knott e ANOVA; `dplyr` e `tidyr` para manipulação e arranjo dos dados e `readxl` para leitura das planilhas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Massa total dos frutos e massa da polpa

As variações encontradas para os caracteres massa do mesocarpo e massa total dos frutos, determinados nos genótipos de macaúba durante o período de armazenamento, são demonstradas na Figura 1. Os resultados indicam um padrão fisiológico típico de frutos oleaginosos, caracterizado por uma drástica perda de massa nos primeiros dias após a colheita (de 0 a 14 dias), seguida de um período de estabilização (de 14 a 28 dias). Isso está diretamente relacionado ao processo de desidratação, que é o principal fator que leva à redução da massa fresca dos frutos na fase pós-colheita (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Segundo Nunes (2008), logo após a abscisão do fruto da planta, ocorre uma intensa perda de água, que vai diminuindo à medida que o gradiente de vapor também se reduz.

Portanto, a tendência observada de uma queda rápida, seguida de uma estabilização a partir do 14º dia após a coleta, está alinhada com o que se espera do comportamento fisiológico, sendo possível notar que, tanto a massa total dos frutos quanto a massa da polpa mostram esse comportamento, independentemente do grupo genético que se está observando: *Acrocomia aculeata*, híbridos ou *Acrocomia totai*. A maior parte da redução ocorre até o 14º dia após a coleta, e as curvas de ajuste mostram um declínio acentuado, seguido por uma aproximação assintótica, o que indica uma diminuição da massa que se torna cada vez menor à medida que o tempo avança.

Aliado às observações acima, de acordo com Goulart (2014), os frutos de macaúba são climatéricos e com isso há conversão de reservas após a colheita. A atividade climatérica em frutos promove o aumento da taxa respiratória durante o armazenamento o que por sua vez contribui para maior perda de massa dos frutos (STEFFENS *et al.*, 2007).

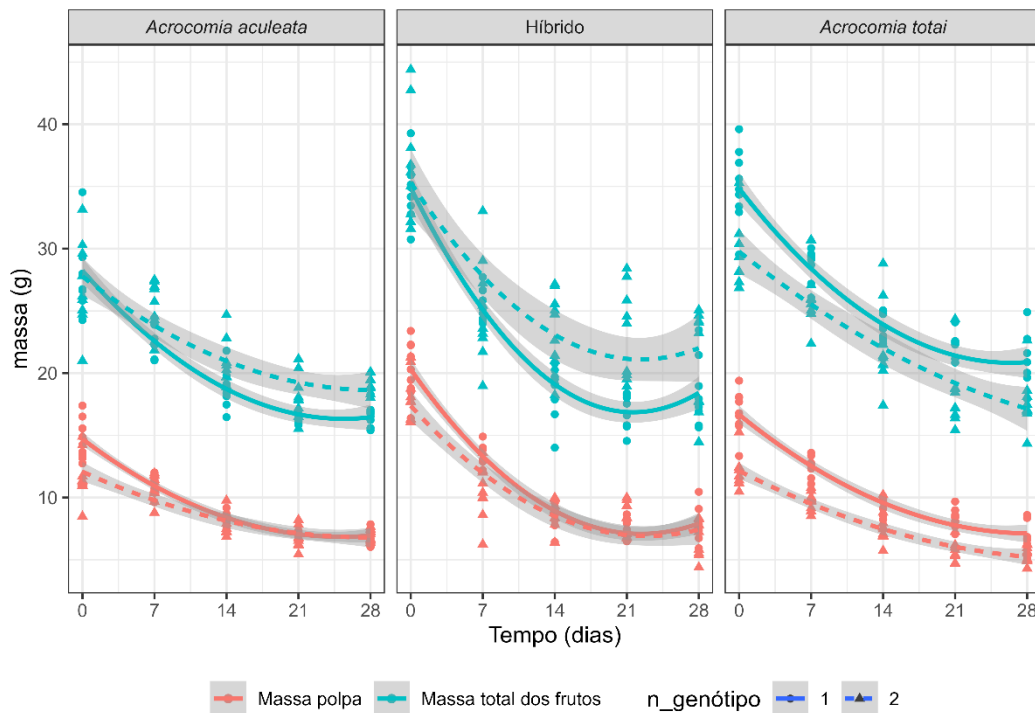


Figura 1. Massa da polpa (g) e massa total (g) dos frutos dos genótipos de macaúba ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.

5.2. Teor de umidade dos mesocarpos mensurado após os períodos de armazenamento

Para garantir confiabilidade no cálculo dos teores centesimais foi fundamental deixar as amostras de mesocarpos na base seca, procedimento recomendado para análises comparativas de composição de frutos oleaginosos (BORA *et al.*, 2003; CICONINI *et al.*, 2013).

As faixas dos teores médios de umidade encontradas nos mesocarpos da *A. aculeata* variaram de 49,5% a 9,2% para a L6A3P3 e 51,1% a 9,4% para a L9A19P1; para os híbridos, a variação foi de 58,4% a 9,1% no genótipo L11A45P1 e 56,1% a 12,7% no L5A46P2, enquanto para os genótipos da *A. totai* os valores foram de 48,0% a 10,1% para o L11A37P1 e de 54,8% a 8,7% para o L11A35P.

A queda uniforme e progressiva da umidade das polpas ao longo do tempo avaliado nos três grupos genéticos (*Acrocomia aculeata*, híbridos e *Acrocomia totai*)

confirma que as amostras passaram por uma desidratação gradual e previsível (Figura 2).

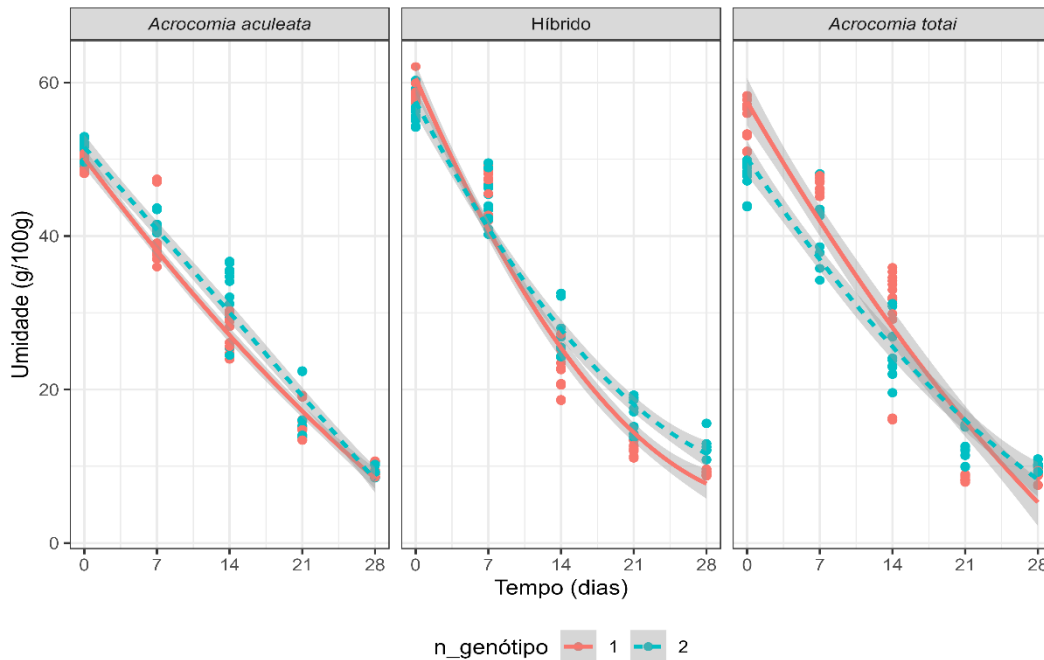


Figura 2. Teor de umidade dos mesocarpos dos frutos ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.

Essa redução contínua e acentuada da umidade, especialmente nos dias iniciais do armazenamento, é um comportamento típico de frutos após a colheita. Essa tendência está diretamente associada à perda de água por transpiração e respiração, fenômeno fisiológico bem documentado na literatura de pós-colheita. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a perda de água é o principal determinante da redução do teor de umidade em frutos, sendo mais intensa no período imediatamente posterior à colheita devido ao alto gradiente hídrico entre o fruto e o ambiente.

Kays (1997) salienta que a maior parte da perda de água acontece nos primeiros dias de armazenamento, entrando em um estado de estabilização na fase seguinte, correspondente exatamente ao padrão demonstrado no gráfico.

A uniformidade desse comportamento entre *A. aculeata*, híbridos e *A. totai* sugere que, não obstante as divergências genéticas e morfológicas mencionadas na literatura (CICONINI *et al.*, 2013; FLORES; MIYAMOTO; COLMÁN, 2013), a dinâmica

fisiológica de desidratação obedece a princípios gerais comuns às espécies do gênero *Acrocomia*.

5.3. Composição centesimal dos mesocarpos durante os tempos

As Tabelas 1, 2 e 3, apresentam os resultados sobre a composição centesimal dos mesocarpos dos frutos dos diversos genótipos de *Acrocomia*. Os resultados incluem os teores de umidade, cinzas, proteína bruta, óleo, sacarose, glicose, frutose e carboidratos (amido + fibra) que foram analisados em base seca, determinados em diferentes momentos durante o armazenamento: 0, 7, 14, 21 e 28 dias.

Tabela 1. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos da espécie *A. aculeata* ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.

Variável	L6A3P3 – <i>Acrocomia aculeata</i>					L9A19P1 – <i>Acrocomia aculeata</i>				
	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Umidade (%)	2,64 a	2,64 a	2,29 c	2,49 b	1,62 d	3,08 a	2,44 c	2,56 b	2,49 b	1,62 d
Cinzas (%)	4,02 c	4,44 b	4,71 a	4,58 a	4,21 b	3,32 c	4,57 b	4,38 b	4,58 a	4,21 b
Proteína Bruta (%) ¹	3,56 d	3,66 c	3,94 b	4,06 a	4,10 a	4,57 c	4,74 b	4,97 a	4,06 a	4,10 a
Óleo (%)	36,17 d	38,78 c	41,26 b	42,75 a	42,85 a	41,39 d	47,55 c	51,9 a	42,75 a	42,85 a
Sacarose (%)	0 d	0,48 c	0 d	1,13 a	0,91 b	0 d	1,56 c	4,55 a	1,13 b	0,91 b
Glicose (%)	2,44 c	3,80 b	5,81 a	3,96 b	3,05 b	1,27 c	2,91 a	1,96 b	3,96 b	3,05 b
Frutose (%)	4,49 c	6,74 b	8,52 a	6,68 b	4,56 c	3,63 c	7,07 a	2,75 d	6,68 b	4,56 c
Carboidratos (%) ²	46,69 a	39,48 b	33,48 c	34,36 c	38,71 b	42,75 a	29,16 b	26,93 c	34,36 c	38,71 b

¹(%N x 6,25)

²Amido + fibras: calculado por diferença.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e genótipo na linha, não diferem entre si pelo teste Scott Knott (5%).

Tabela 2. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos híbridos de macaúba ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.

Variável	L11A45P1 – Híbrido					L5A46P2 – Híbrido				
	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Umidade (%)	3,19 a	2,65 b	2,22 c	2,30 c	1,60 d	3,34 a	2,45 b	2,42 b	1,45 c	1,41 c
Cinzas (%)	5,65 a	5,19 a	5,30 a	5,44 a	5,60 a	4,77 c	5,84 a	5,51 b	5,29 b	6,55 a
Proteína Bruta (%) ¹	5,80 a	6,18 a	6,52 b	6,37 b	6,42 b	3,93 c	4,46 a	4,58 a	4,20 b	4,56 a
Óleo (%)	27,70 c	30,59 b	32,32 a	32,28 a	32,51 a	23,78 c	26,06 b	28,25 a	27,35 a	26,59 b
Sacarose (%)	0 c	0,98 a	0,51 b	0,43 b	1,04 a	0,92 d	6,17 b	8,47 a	5,93 b	4,43 c
Glicose (%)	0,83 c	3,81 a	3,69 b	3,10 b	4,05 a	1,80 c	6,75 a	5,84 b	6,79 a	7,39 a
Frutose (%)	3,14 d	11,66 a	8,89 b	7,48 c	8,57 b	3,61 d	10,95 a	6,79 c	8,58 b	9,54 b
Carboidratos (%) ²	53,71 a	38,95 b	40,56 b	42,59 b	40,21 b	57,85 a	37,32 b	38,14 b	40,41 b	39,53 b

¹(%N x 6,25)

²Amido + fibras: calculado por diferença.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e genótipo na linha, não diferem entre si pelo teste Scott Knott (5%).

Tabela 3. Valores médios da composição centesimal determinada nos mesocarpos de frutos de genótipos da espécie *A. totai* ao longo do tempo de armazenamento, de 0 a 28 dias.

Variável	L11A37P1 – <i>Acrocomia totai</i>					L11A35P1 – <i>Acrocomia totai</i>				
	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	0 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Umidade (%)	2,45 b	3,02 a	2,24 c	2,30 c	1,32 d	2,89 a	2,49 b	2,43 b	2,17 c	1,47 d
Cinzas (%)	4,47 a	4,42 a	4,52 a	5,44 a	4,16 b	4,64 b	5,23 a	5,63 a	4,62 b	4,47 b
Proteína Bruta (%) ¹	4,55 c	4,74 b	4,90 a	6,37 b	4,90 a	6,27 c	6,74 b	7,30 a	6,82 b	7,21 a
Óleo (%)	29,15 c	31,17 b	32,02 a	32,28 a	32,32 a	35,17 c	43,62 a	40,83 b	34,55 c	39,66 b
Sacarose (%)	0 e	0,40 c	1,02 a	0,43 b	0,29 d	0 c	0 c	0,26 b	0,25 b	0,94 a
Glicose (%)	10,56 a	6,05 b	7,07 b	3,10 b	7,00 b	6,46 a	4,73 b	2,99 d	3,80 c	4,27 b
Frutose (%)	13,95 a	11,34 b	10,17 c	7,48 c	9,95 d	10,91 a	8,33 b	5,74 d	7,34 c	6,80 c
Carboidratos (%) ²	34,88 b	38,88 a	38,06 a	42,59 b	40,07 a	33,66 b	28,87 c	34,83 b	40,46 a	35,19 b

¹(%N x 6,25)

²Amido + fibras: calculado por diferença.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada variável e genótipo na linha, não diferem entre si pelo teste Scott Knott (5%)

5.4. Teor de óleo

Ao observar a mudança no teor de óleo do mesocarpo dos frutos ao longo do tempo para os três grupos genéticos (Figura 3), em geral, nota-se que o conteúdo de óleo aumenta gradativamente nos primeiros dias, se estabiliza entre o 14º dia ao 21º dia e depois apresenta uma leve queda, padrão que se alinha ao comportamento fisiológico de frutos oleaginosos, como o dendê, em seu processo de amadurecimento. Há evidência que o acúmulo de lipídios aumenta até atingir a plena maturação e a sua estabilização ou leve diminuição nos estágios posteriores seja devido à oxidação e à mobilização metabólica das reservas (KADER, 2002; WILLS *et al.*, 2007).

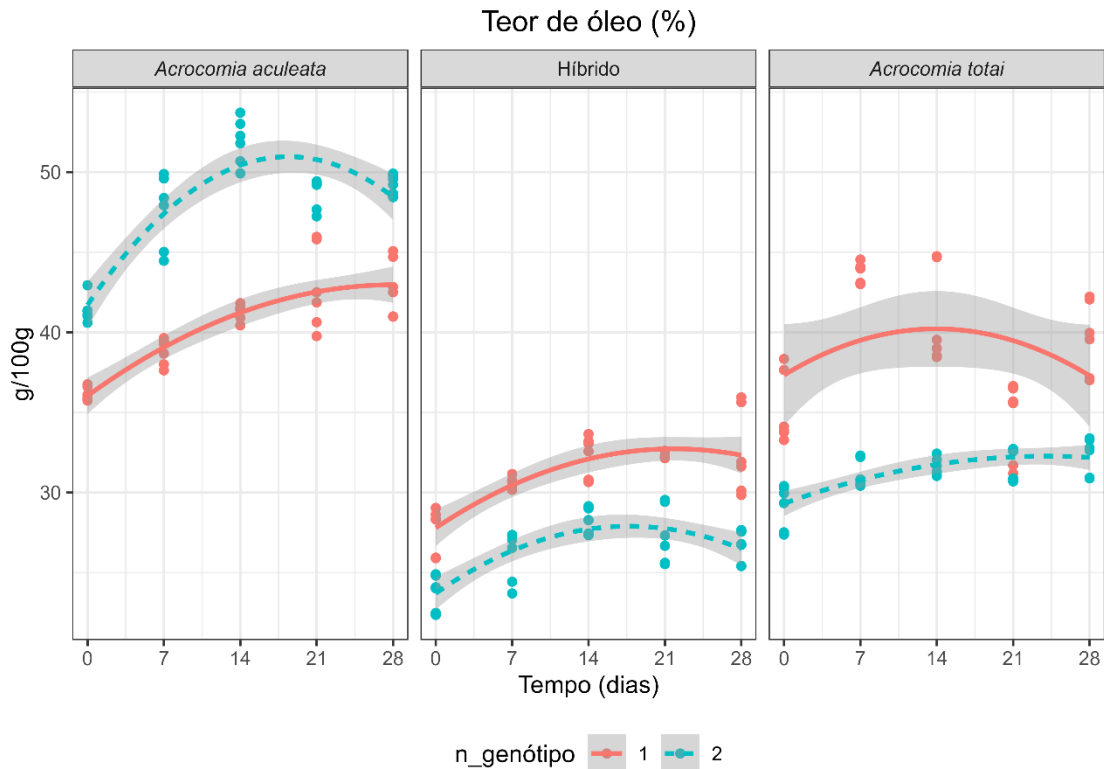


Figura 3. Teor de óleo dos mesocarpos ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.

Outros trabalhos relatam o mesmo processo bioquímico de acúmulo do óleo nos mesocarpos dos frutos, quando armazenados em temperatura ambiente, após abscisão natural dos frutos. Martins (2013) observou incremento no teor de óleo do mesocarpo de frutos de macaúba após tratamentos físicos de radiação gama e armazenamento dos frutos em temperatura ambiente, sendo que o ponto de conversão máxima de óleo nos frutos ocorreu em torno dos 30 dias.

Souza (2013), ao avaliar o teor de óleo de frutos coletados de abscisão natural, acondicionados em saquinhos de tela sombreada, que foram dispostos em torno do caule das palmeiras, em temperatura ambiente por um período de 1 a 31 dias, observou que o teor de lipídios da polpa, em função do tempo, atingiu um valor máximo aos 11 dias (40,35%), com queda dos teores até os 31 dias (30%). A autora, concluiu que ocorre, portanto, síntese de lipídeos após os frutos serem destacados do cacho.

Dentre os grupos genéticos estudados, *Acrocomia aculeata* foi o que

apresentou os maiores teores de óleo, entre cerca de 40% e mais de 50% em momentos intermediários do período observado. Os resultados obtidos corroboram outros estudos que apontam *A. aculeata* como a espécie do gênero que acumula mais lipídeos, especialmente pelo alto rendimento de óleo encontrado no mesocarpo e na amêndoa (CICONINI *et al.*, 2013; COLOMBO *et al.*, 2018). A notável capacidade de síntese lipídica em *A. aculeata* é considerada uma das características mais proeminentes da espécie, ligada tanto à sua fisiologia quanto à morfologia do fruto.

Acrocomia totai mostrou níveis de óleo intermediários, cerca de 29% e 43%, com uma curva de crescimento suave ao longo do tempo e uma estabilização posterior. Em comparação *A. aculeata*, em média, tem frutos menores e uma menor proporção de mesocarpo oleaginoso (FLORES; MIYAMOTO; COLMÁN, 2013). Apesar de acumular menos lipídios, *A. totai* é considerada um valioso recurso genético, aumentando a variabilidade e o potencial híbrido do gênero.

No entanto, os híbridos mostraram os menores teores de óleo entre os grupos analisados, com oscilações entre 23% e 32% no genótipo L11A45P1 e 13% e 25% no genótipo L5A46P2. Assim, a menor porcentagem de óleo nos híbridos reflete a herança genética aditiva entre as espécies (COLOMBO *et al.*, 2019).

Outro ponto evidenciado é a disparidade entre genótipos dentro de um mesmo grupo. *A. aculeata*, em que um dos indivíduos teve valores superiores ao outro de forma consistente. Isso evidencia a diversidade genética do gênero *Acrocomia*, que indicam uma forte variabilidade intraespecífica, composição química e produtividade (LIMA *et al.*, 2015; COLOMBO *et al.*, 2019).

5.5. Teor da umidade residual, cinzas e proteína bruta

Os teores de umidade residual caíram significativamente do dia 0 ao dia 14 em todos os genótipos (Figura 4), o que também foi apoiado pelas análises estatísticas, que mostraram que nos dias finais 21º e 28º dias se agruparam significativamente em classes inferiores em comparação aos tempos iniciais (Tabelas 1, 2 e 3).

Já os níveis de cinzas foram consistentemente semelhantes ao longo do tempo (Figura 4), permanecendo estatisticamente em classes similares entre diferentes genótipos. (Tabelas 1, 2 e 3). Confirmando que os minerais não sofrem influência metabólica durante a pós-colheita, portanto ocorre pequenas variações com o amadurecimento (AOAC, 2000).

A proteína apresentou tendência de aumento gradual ao longo do armazenamento (Figura 4) também refletida nos grupos estatísticos, que mostram elevação de classes entre o dia 0 até o dia 28 (Tabela 1, 2 e 3).

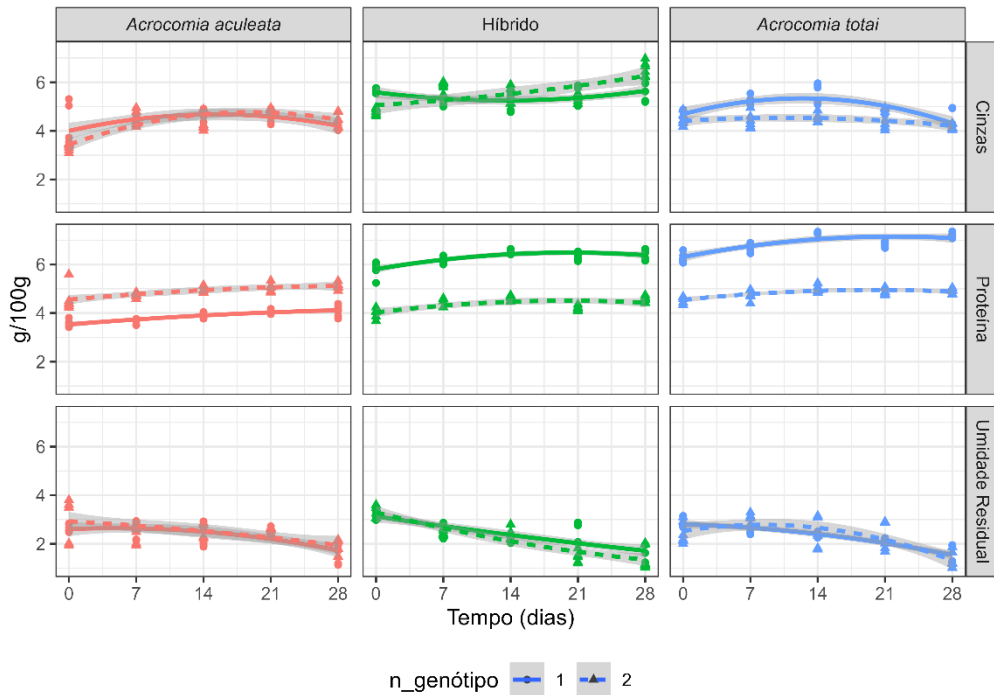


Figura 4. Cinzas, proteínas e umidade residual ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.

5.6. Açúcares

A Figura 5 apresenta os gráficos dos teores de açúcares simples (sacarose, glicose e frutose) determinados nos mesocarpos dos frutos das espécies. Observa-se que o comportamento bioquímico da frutose e da glicose foi semelhante em todos os genótipos, com as linhas de incremento e/ou decréscimo das suas concentrações sempre pareadas em todo o período de armazenamento, ou seja, com valores de correspondência direta de uma substância com a outra no mesmo genótipo, mas sempre a frutose em maior proporção do que a glicose. Porém, em termos quantitativos, as concentrações dessas substâncias variaram significativamente entre as espécies e mesmo entre os genótipos da mesma espécie (Tabelas 1, 2 e 3).

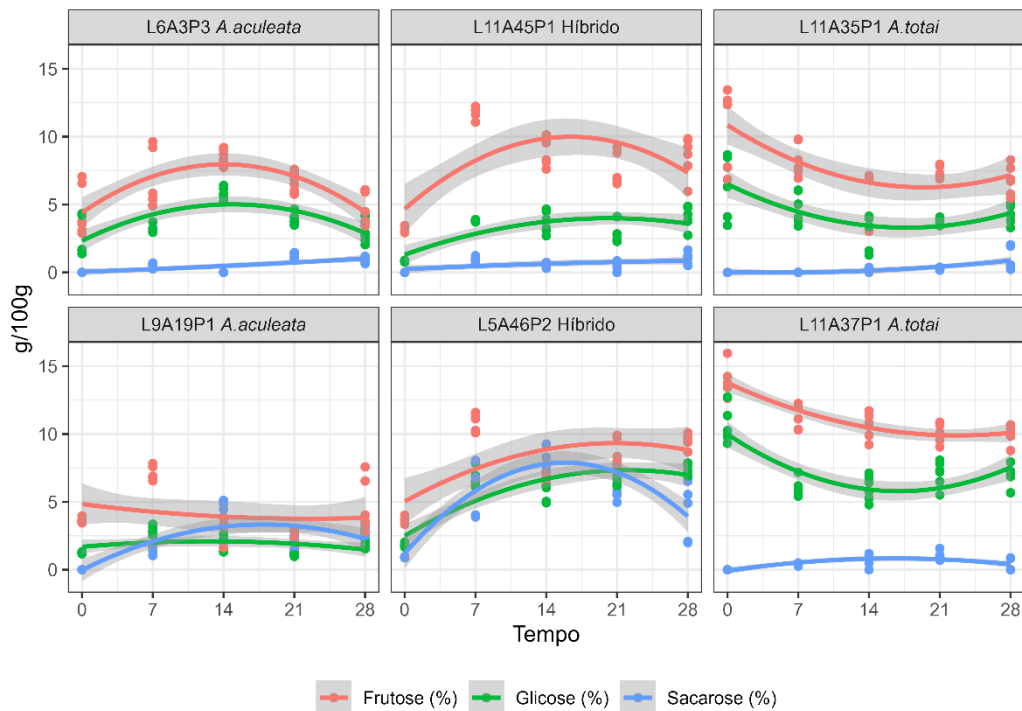


Figura 5. Frutose, glicose e sacarose ao longo dos dias de armazenamento; sendo o da *A. aculeata*: L6A3P3 e L9A19P1; Híbridos: L11A45P1 e L5A46P2; *A. totai* -: L11A35P1 e L11A37P1.

Em relação aos genótipos, os frutos da *A. totai* demonstraram atividade metabólica dos açúcares totalmente diferenciada dos demais, apresentando teores elevados de glicose e frutose (respectivamente, 6,46 e 10,91 % no L11A35P1; 10,56 e 13,95% para o L11A37P1) já no início do armazenamento (dia 0), os quais foram diminuindo gradativamente até o dia 21 do armazenamento e, logo após, um leve acréscimo ocorreu em suas concentrações. Ao contrário, os híbridos já apresentaram baixos valores dos açúcares nos primeiros dias do experimento, com valores médios iguais a 0,83% de glicose e 3,14% de frutose para o híbrido L11A45P1 e 1,80% de glicose e 3,61% de frutose no L5A46P2. Em seguida, as atividades bioquímicas dos açúcares foram acentuadas, com concentrações máximas atingidas entre o 14º dia e 21º dia do experimento. Por fim, os genótipos da espécie *A. aculeata* demonstraram perfis mais aproximados ao metabolismo dos híbridos, com teores máximos de açúcares formados no 14º dia.

As concentrações de sacarose encontradas para os frutos foram muito baixas, ou mesmo não sendo detectada a sua presença nas polpas, principalmente nos frutos controle (dia 0) de todos os genótipos. Entretanto, houve incremento acentuado da

sacarose nos mesocarpos do híbrido L5A46P2 e da *A. aculeata* L9A19P1 a partir do 7º dia, que atingiram a concentração máxima entre o 14º a 21º dia.

Goulart (2014) avaliou o padrão respiratório e de evolução de etileno de frutos de macaúba colhidos com diferentes idades (de 313 a 433 dias após a antese), que foram tratados com acetileno e armazenados em temperatura ambiente por 30 dias, em comparação com frutos não tratados. A dose aplicada de acetileno foi equivalente a 400 ppm de etileno, sendo realizada visando antecipar o surgimento dos picos de produção de CO₂ e de etileno e, por consequência, o amadurecimento dos frutos. Não houve diferença significativa quanto à evolução de etileno entre frutos tratados e não tratados com acetileno. Mas, o autor concluiu que apesar da dose de acetileno não ter sido eficaz em promover respostas na evolução de CO₂ e de etileno nos frutos de macaúba, os padrões de evolução de CO₂ e de etileno encontrados durante o estudo foram compatíveis com os padrões de frutos climatéricos.

O processo de quebra das reservas orgânicas armazenadas (carboidratos, proteínas e gorduras) em moléculas mais simples com liberação de energia na forma de ATP é denominado respiração. O climatério respiratório corresponde a um período de grande atividade metabólica, com predominância de reações oxidativas. Nesta etapa, o hormônio vegetal etileno desempenha um papel crucial na regulação de várias mudanças bioquímicas, incluindo a degradação do amido em açúcares, que inicia e coordena o processo de amadurecimento. Os açúcares servem como substrato primário para a respiração celular da fruta, um processo metabólico que consome açúcares e oxigênio para produzir energia, água e dióxido de carbono. A taxa de respiração aumenta durante a maturação (pico climatérico) e diminui durante a senescência (GHOSH *et al.*, 2023).

5.7 Outros carboidratos: fibras mais amido

A forma como os carboidratos estruturais, amido mais fibra, se comportaram durante os dias de armazenamento foi diferente entre os grupos genéticos estudados: *Acrocomia aculeata*, híbridos e *A. totaj*, o que demonstra diferenças fisiológicas marcantes entre eles (Figura 6).

Na *Acrocomia aculeata* e nos híbridos, ocorreu uma rápida diminuição, devido à degradação do amido durante o amadurecimento. A acentuada queda entre 0 e o 7º dia indica que as amilases estão ativas e que esses grupos experimentam uma fase

metabólica inicial mais intensa. Depois de cerca de 14 dias, tanto *Acrocomia aculeata* quanto os híbridos mostraram uma estabilização nos níveis de carboidratos, o que indica que a maior parte da conversão do amido havia sido completada.

Em contrapartida, o grupo *A. totai* se comportou de maneira inversa em comparação aos outros genótipos, uma vez que os valores de amido e fibra aumentaram levemente, inicialmente com uma média de 34,27% no dia zero e 37,63% no dia 28, durante o período de armazenamento. Inicialmente os frutos de *A. totai* tinham teor inicial de amido menor; portanto, a degradação amilolítica para o metabolismo respiratório poderia ser menos significativa, levando a uma menor redução nos carboidratos estruturais. Isso sugere que pode haver diferenças inerentes na composição inicial ou na taxa de degradação, possivelmente relacionadas ao estágio de maturação na colheita ou à variabilidade genética natural.

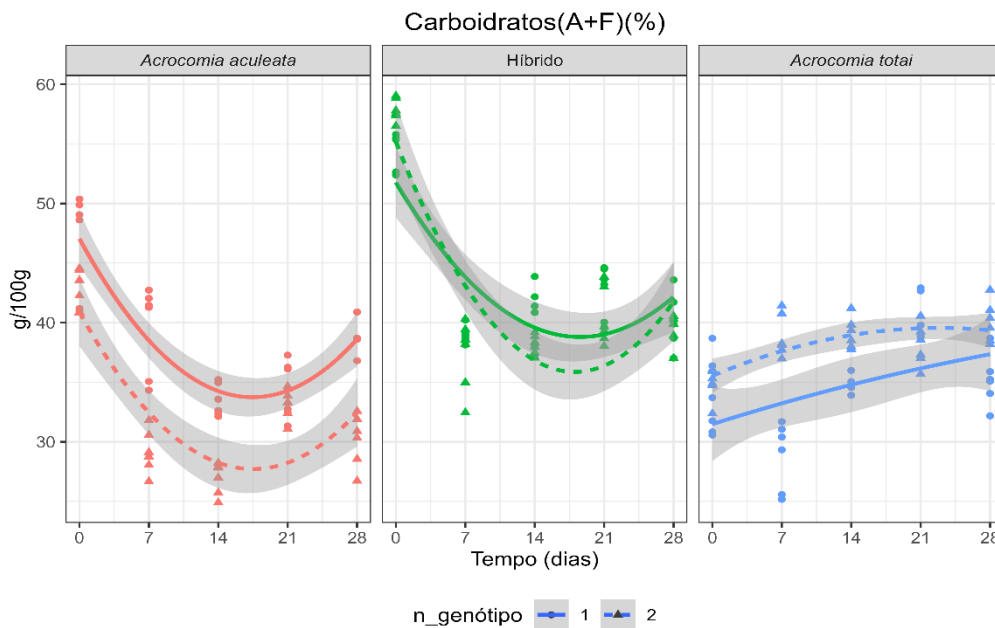


Figura 6. Carboidratos (amido e fibra) ao longo dos dias de armazenamento; sendo o genótipo 1 da *A. aculeata*: L6A3P3 e genótipo 2: L9A19P1; Híbridos - genótipo 1: L11A45P1 e genótipo 2: L5A46P2; *A. totai* - genótipo 1: L11A35P1 e genótipo 2: L11A37P1.

5.8. Relação das diferenças dos componentes no tempo de armazenamento

A associação entre os carboidratos ao longo do armazenamento é essencial, pois açúcares redutores como glicose e frutose, açúcares não redutores como sacarose, amido e celulose, desempenham um papel fundamental no sabor e na estrutura do fruto (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Nos genótipos L6A3P3 e L9A19P1 de *A. aculeata*, foi claramente evidenciada uma inversa entre a perda de carboidratos estruturais amido e fibra e o ganho de óleo, sacarose, glicose e frutose (Figura 7). A diminuição de amido e fibra durante o armazenamento é acompanhada por aumentos de 10 a 15% nos outros constituintes, principalmente entre 7º e 14º dia (Tabela 4). Esse comportamento condiz com o padrão descrito para frutos amiláceos, em que o amido é hidrolisado por enzimas degradantes, resultando na liberação de açúcares solúveis que são empregados no metabolismo respiratório (KAYS, 1997). Apesar de ambos os genótipos exibirem padrões semelhantes, L6A3P3 demonstrou uma maior amplitude de variação, sugerindo um metabolismo pós-colheita mais vigoroso.

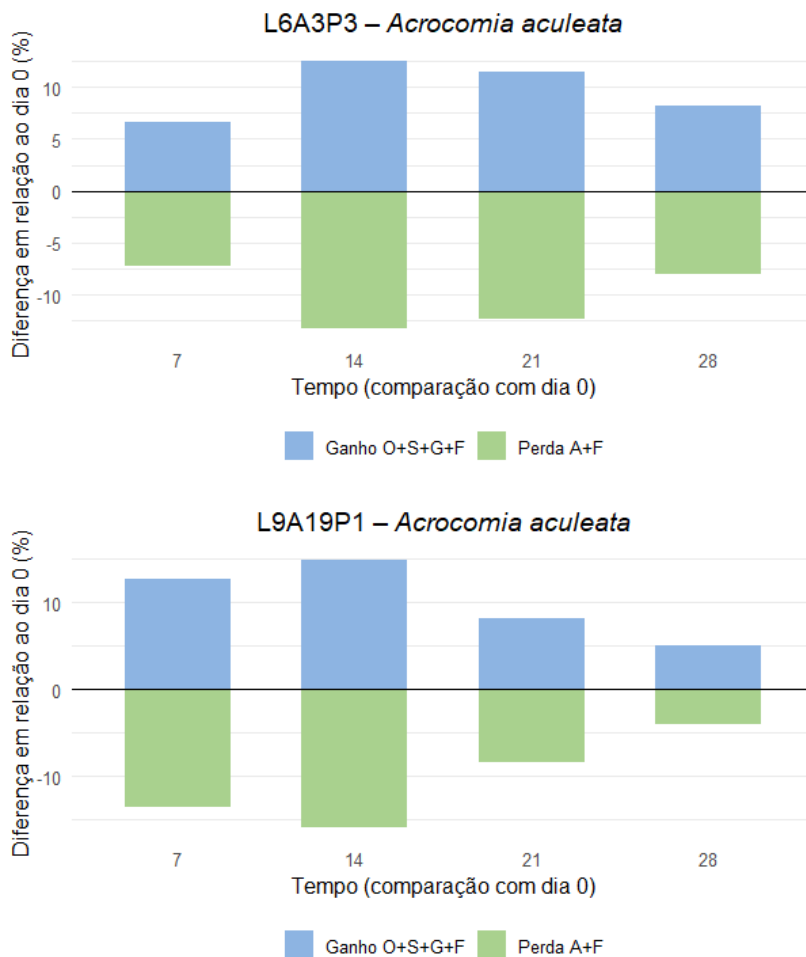
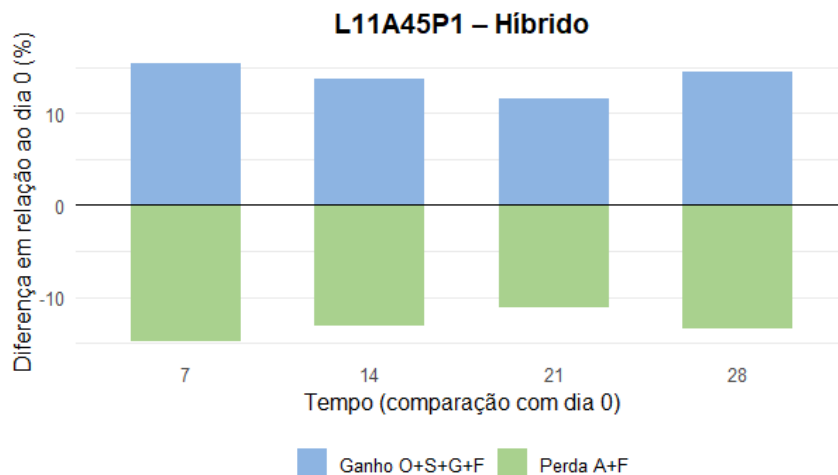


Figura-7. Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos genótipos de *Acrocomia. aculeata* ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero aos demais dias.

Tabela 4. Diferença percentual teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L6A3P3 e L9A19P1 de *Acrocomia aculeata* ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero aos demais dias.

	L6A3P3 – <i>A. aculeata</i>				L9A19P1 – <i>A. aculeata</i>			
	Diferenças dos componentes em relação ao dia 0 (%)							
	7-0	14-0	21-0	28-0	7-0	14-0	21-0	28-0
Óleo	2,61	5,09	6,58	6,68	6,16	10,51	1,36	1,46
Sacarose	0,48	0	1,13	0,91	1,56	4,55	1,13	0,91
Glicose	1,36	3,37	1,52	0,61	1,64	0,69	2,69	1,78
Frutose	2,25	4,03	2,19	0,07	3,44	-0,88	3,05	0,93
Carboidratos (A+F)	-7,21	-13,21	-12,33	-7,98	-13,59	-15,82	-8,39	-4,04

Em ambos os híbridos L11A45P1 e L5A46P2, as relações foram ainda mais evidentes (Figura 8). Na tabela 5, são apresentadas perdas que ultrapassaram 15 a 20% de amido e fibras foram seguidas por aumentos comparáveis em outros componentes, especialmente no genótipo L5A46P2. O amido é sintetizado nos plastídeos e armazenado em diferentes órgãos da planta, sendo considerado um dos principais polissacarídeos das reservas vegetais. Por ser uma molécula densa e pouco solúvel em água, precisa ser quebrado em moléculas menores e móveis para ser utilizado no processo de amadurecimento do fruto. A redução do amido está relacionada ao aumento de açúcares redutores e não redutores durante o processo de maturação (MONTROYA *et al.*, 2016). Portanto, os frutos dos híbridos podem ser provenientes de um amadurecimento mais acelerado, o que leva a uma maior conversão de carboidratos estruturais.



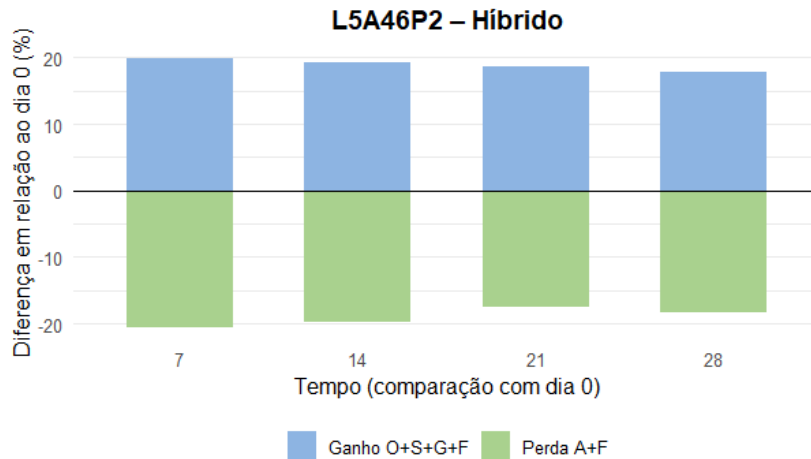


Figura-8. Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos híbridos ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero aos demais dias.

Tabela 5. Diferença percentual nos teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L11A45P1 e L5A46P2 de híbrido ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero aos demais dias.

	L11A45P1 – Híbrido				L5A46P2 – Híbrido			
	Diferenças dos componentes em relação ao dia 0 (%)							
	7-0	14-0	21-0	28-0	7-0	14-0	21-0	28-0
Óleo	2,89	4,62	4,58	4,81	2,28	4,47	3,57	2,81
Sacarose	0,98	0,51	0,43	1,04	5,25	7,55	5,01	3,51
Glicose	2,98	2,86	2,27	3,22	4,95	4,04	4,99	5,59
Frutose	8,52	5,75	4,34	5,43	7,34	3,18	4,97	5,93
Carboidratos (A+F)	-14,76	-13,15	-11,12	-13,5	-20,53	-19,71	-17,44	-18,32

No entanto, *Acrocomia totai* exibiu um padrão dessemelhante ao que foi observado em *A. aculeata* e híbridos (Tabela 6). Nos genótipos L11A37P1 e L11A35P1, observou-se por meio da figura 9, que o amido e fibra se mantiveram ou até aumentaram durante o armazenamento, enquanto o óleo, sacarose, glicose e frutose mostraram sutis variações, com menor degradação, podendo estar em diferente ponto de maturação ao comparar com os outros genótipos.

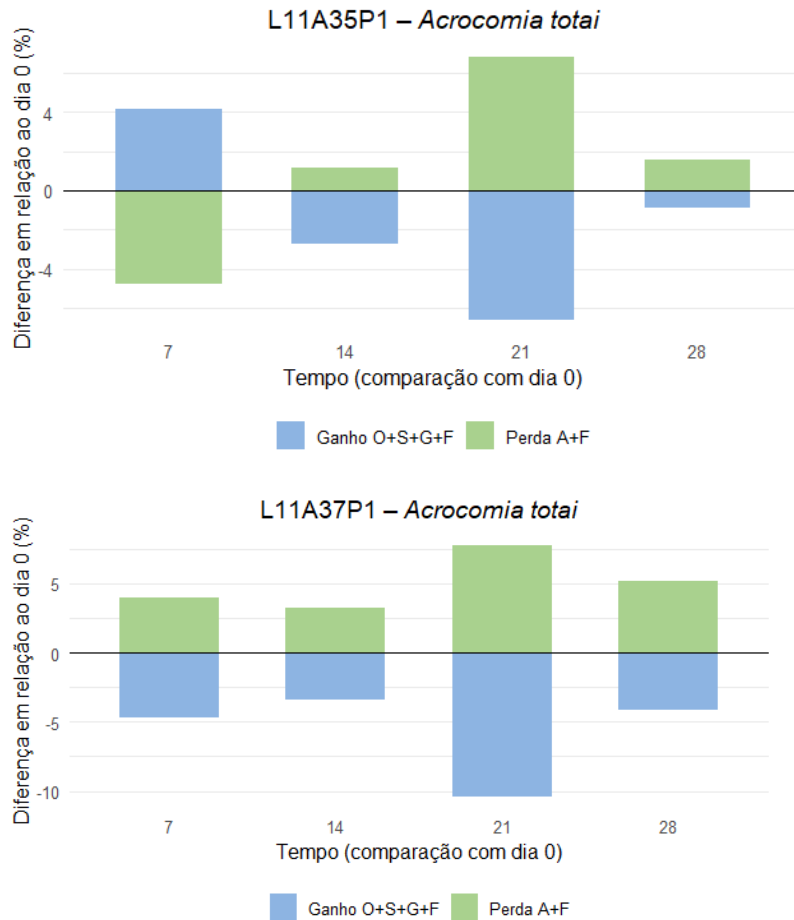


Figura-9. Relação das diferenças do ganho de O=óleo, S=sacarose, G=glicose e F=frutose com a perda A=amido e F=fibra ao longo tempo de armazenamento nos genótipos de *Acrocomia totali*. ao longo do armazenamento, em comparação ao dia zero aos demais dias.

Tabela 6. Diferença percentual nos teores de óleo, açúcares e carboidratos estruturais (amido + fibra) dos genótipos L11A37P1 e L11A35P1 de *Acrocomia totali* ao longo do armazenamento em comparação ao dia zero aos demais dias.

	L11A37P1 – <i>A. totali</i>				L11A35P1 – <i>A. totali</i>			
	Diferenças dos componentes em relação ao dia 0 (%)							
	7-0	14-0	21-0	28-0	7-0	14-0	21-0	28-0
Óleo	2,02	2,87	3,13	3,17	8,45	5,66	-0,62	4,49
Sacarose	0,40	1,02	0,43	0,29	0,00	0,26	0,25	0,94
Glicose	-4,51	-3,49	-7,46	-3,56	-1,73	-3,47	-2,66	-2,19
Frutose	-2,61	-3,78	-6,47	-4	-2,58	-5,17	-3,57	-4,11
Carboidratos (A+F)	4,00	3,18	7,71	5,19	-4,79	1,17	6,8	1,53

6 CONCLUSÃO

A avaliação comparativa da composição centesimal durante o período de armazenamento evidenciou padrões fisiológicos distintos e consistentes entre *Acrocomia aculeata*, seus híbridos e *Acrocomia totai*. De maneira geral, o armazenamento, resultou em uma perda progressiva de água, diminuição da massa fresca e aumento relativo do teor de óleo, ao passo que as cinzas se mantiveram praticamente constantes e as proteínas exibiram um leve acréscimo para todos os genótipos.

Embora os açúcares não tenham exibido um comportamento uniforme para todos os genótipos ao longo do tempo, é possível notar que a frutose e glicose apresentam comportamentos equivalentes dentro de um mesmo genótipo. A sacarose, desde o dia zero, inicia-se muito próxima a zero para todos os genótipos. Além disso, a correlação mais evidente manifestou-se nos genótipos de *Acrocomia aculeata* e híbridos, nos quais a diminuição de carboidratos estruturais (amido e fibra) se associaram diretamente ao aumento de óleo, sacarose, glicose e frutose.

Contudo, para uma interpretação ainda mais robusta e para maiores correlações, seria fundamental a determinação isolada do amido e fibra. Entretanto, no caso específico da macaúba, necessita um método consolidado, sendo necessário o desenvolvimento e validação de uma metodologia específica para a espécie, o que representa importante perspectiva para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2000.

BERTON, L.H.C. **Avaliação de populações naturais, estimativas de parâmetros genéticos e seleção de genótipos elite de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013. 154f. Tese (Doutorado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico, Campinas.

BITTENCOUR, I.F., Venâncio, M.M.H., Berton, L.H.C., Azevedo Filho, J.A., Colombo, C.A., and Carvalho, C.R.L. (2016). Estabelecimento de curvas de calibração em espectroscopia no infravermelho próximo para teores de lipídeos e de ácido oleico em frutos de macaúba. In: Congresso Interinstitucional De Iniciação Científica, 10., 2016, Campinas. **Anais 2016**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Nº 16113.

BORA, P. S. *et al.* Characterization of principal nutritional components of Brazilian oil palm (*Elaeis guineensis*) fruits. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 1, p. 1–5, 2003.

CENCI, I.O., GUIMARÃES, B.P., AMABILE, R. F., GHESTI, G.F. Quantificação de proteínas em cevada para malteação: comparação de métodos. In: Verruck, S. (Org.) **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Guarujá, SP: Científica Digital, v.2, Cap. 27, p. 395-408, 2020.

CARVALHO, F.D.M.; Díaz-Hernandez, B.G.; de Azevedo-Filho, J.A.; Carvalho, C. R.L.; Gondim-Tomaz, R.M.A.; Colombo, C.A. Natural interspecific hybrids between *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. and *A. totai* Mart.: morphological evidence and agronomic traits. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 72, n.1, p. 635–656, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10722-025-02616-4p>.

CICONINI, G. *et al.* **Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil**. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208–214, 2013.

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

CLEVELAND, W. S. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 368, p. 829–836, 1979.

COLOMBO, C. A. *et al.* **Macauba: A promising tropical palm for the production of vegetable oil**. **OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, p. D108, 2018.

COLOMBO, C. A. *et al.* Macauba palm: biology, diversity and domestication. **Plant Science Today**, v. 6, n. 4, p. 335–350, 2019. Macaúba palm as a promising resource for biodiversity-based bioeconomy and climate solutions in the tropics

COLOMBO, C. A.; LOPES, M. A.; DÍAZ-HERNÁNDEZ, B. G.; CARVALHO, F. D. M.; AZEVEDO FILHO, J. A. de. Macaúba palm as a promising resource for biodiversity-based bioeconomy and climate solutions in the tropics. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 60, 2025.

DOMICIANO, G.P., ALVES, A.A., LAVIOLA, B.G. AND CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S. Genetic parameters and diversity in progenies from Macaw Palm based on morphological and physiological traits. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1599-1605, 2015.

EVARISTO, A.B., Grossi, J.A.S., Pimentel, L.D., de Melo Goulart, S., Martins, A.D., dos Santos, V.L., Motoike, S. 2016b. Harvest and post-harvest conditions influencing macauba (*Acrocomia aculeata*) oil quality attributes. **Ind. Crop. Prod.**, v. 85, p. 63–73, 2016 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.02.052>

FLORES, C.; MIYAMOTO, T.; COLMÁN, E. Caracterización de frutos de macaúba (*Acrocomia totai*) en el Chaco Central. **Revista Investigaciones Agropecuarias**, v. 39, n. 2, p. 111–120, 2013.

FRANCO, W.C.G. **Metodologias de secagem e armazenamento na pós-colheita de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2024. 84f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GHOSH, P.K.; RAY, J.; CHOUDHURY, A.; GHOSH, S.; KALINDI, D. Physiology and Biochemistry of Fruit ripening: A Review. **Scientist**. v. 2, n. 2, p.197-204, 2023 DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7645235>

GOULART, S.M. **Amadurecimento pós-colheita de frutos de macaúba e qualidade do óleo para a produção de biodiesel**. 2014. 66f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field Guide to the Palms of the Americas**. Princeton: Princeton University Press, 1995.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

IAC, INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS **Dados climatológicos do estado de São Paulo**. Campinas, SP, 2024. Disponível em: <https://clima.iac.sp.gov.br>. Acesso em: 2025.

KADER, Adel A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3. ed. Oakland: University of California, **Agriculture and Natural Resources**, 2002.

- KAYS, Stanley J. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. **Athens, GA: Exon Press**, 1997.
- LIMA, N. E. et al. Genetic structure and diversity of the macaw palm (*Acrocomia aculeata*) in Brazil. **Tree Genetics & Genomes**, v. 11, p. 1–12, 2015.
- LIMA, N. E. et al. Evidence for natural hybridization between *Acrocomia aculeata* and *Acrocomia totai*. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 65, p. 1307–1318, 2018.
- LORENZI, H. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004.
- MARTINS, A.D. **Radiação gama e secagem na conservação da qualidade do óleo de frutos de macaúba**. 2013. 89f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MAZZOTTINNI-DOS-SANTOS, H.C.; Ribeiro, L.M.; Mercadante-Simoes, M.O.; Sant'Anna-Santos, B.F. Ontogenesis of the pseudomonomerous fruits of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): a new approach to the development of pyrenarium fruits. **Trees Struct. Funct.** v. 29, p.199–214, 2015.
- MONTOYA, S.G. **Caracterização do desenvolvimento do fruto da palmeira macaúba**. 2013. 51f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MONTOYA, S.G., Motoike, S.Y., Kuki, K.N., Couto, A.D. Fruit development, growth, and stored reserves in macauba palm (*Acrocomia aculeata*), an alternative bioenergy crop. **Plant**, v. 244, p. 927–938, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2558-7>.
- MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N.; NEVES, J. M. G.; LOPES, F. A. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as a source of biodiesel in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 435–442, 2009.
- NUNES, M. C. N. **Color Atlas of Postharvest Quality of Fruits and Vegetables**. Ames: Wiley-Blackwell, 2008.
- SÁ, S.F. de; CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S. da; RINALDI, M.M.; BRAGA, M.F.; JUNQUEIRA, N.T.V. Caracterização físico-oleífera de frutos de genótipos de macaúba conservados em banco de germoplasma. **Agrotrópica**, v. 31, n. 1, p. 37-44, 2019.
- SANT'ANA, C. T.; CARMO, M. A. V. do; AZEVEDO, L.; COSTA, N. M. B.; MARTINO, H. S. D.; BARROS, F. A. R. de. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp and kernel oils, and co-products: chemical characterization and antioxidant properties. **Ciência Rural**, v. 55, n. 3, e20230383, 2025.
- SHANMUGAVELAN, P., Kim, S.Y., Kim, J.B., Kim, H. W., Cho, S.M., Kim, S.N., Kim, S.Y., Cho, Y.S., and Kim, H.R. (2013). Evaluation of sugar content and composition

in commonly consumed Korean vegetables, fruits, cereals, seed plants, and leaves by HPLC-ELSD. **Carbohydrate Research**, v. 380, 112-117, 2013
<https://doi.org/10.1016/j.carres.2013.06.024>.

SOUZA, C.F.T. de. **Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*)**. 2013. 75f. Dissertação (mestrado em biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande.

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

TOLEDO e SILVA, SHT; Silva, LB; Eisner, P.; Bader-Mittermaier, S. Production of protein concentrates from Macauba (*Acrocomia aculeata* and *Acrocomia totai*) kernels by sieve fractionation. **Foods**, v.11, n. 22, p. 3608, 2022. <https://doi.org/10.3390/foods11223608>.

WILLS, R. *et al.* **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. 5. ed. Sydney: UNSW Press, 2007.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. (Coord.). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.