

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**Desenvolvimento, Maturação e Sistemas de Colheita de  
frutos da macaúba (*Acrocomia aculeata*)**

Autora: Crissia Fernanda Tapeti de Souza

Campo Grande  
Mato Grosso do Sul  
Fevereiro – 2013

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**Maturação, sistemas de colheita e quantificação lipídica de  
frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*)**

Autor : Crissia Fernanda Tapeti de Souza  
Orientadora: Dra. Simone Palma Favaro  
Co-orientador: Dr. Renato Roscoe

“Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIOTECNOLOGIA, no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Católica Dom Bosco – Área de concentração: Biotecnologia Aplicada à Agropecuária.”

Campo Grande  
Mato Grosso do Sul  
Fevereiro – 2013

Ficha catalográfica

Souza, Crissia Fernanda Tapeti de  
S729d Desenvolvimento, maturação e sistemas de colheita de frutos da  
macaúba (*Acrocomia aculeata*) / Crissia Fernanda Tapeti de Souza;  
orientação ; Simone Palma Favaro. 2013  
75 f. f.

Dissertação (mestrado em biotecnologia) – Universidade Católica Dom  
Bosco, Campo Grande, 2013.

1. Biotecnologia 2. Ácidos graxos 3. Macaúba – Óleo 4. *Acrocomia*  
*aculeata* I. Favaro, Simone Palma II. Título

CDD – 665.3



UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO  
Valorizando talentos

## Desenvolvimento, Maturação e Sistemas de Colheita de Frutos da Macaúba

Autora: Crissia Fernanda Tapeti de Souza  
Orientadora: Profa. Dra. Simone Palma Favaro

TITULAÇÃO: Mestre em Biotecnologia  
Área de concentração: Biotecnologia Aplicada à Agropecuária.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2013.

Profa. Dra. Simone Palma Favaro – UCDB  
(orientadora)

Prof. Dr. Renato Roscoe – Fundação MS  
(coorientador)

Profa. Dra. Rúbia Renata Marques – UCDB

Prof. Dr. José Antonio Saraiva Grossi - UFV

*O sucesso nasce do querer,  
da determinação e persistência  
em se chegar a um objetivo.  
Mesmo não atingindo o alvo,  
quem busca e vence obstáculos,  
no mínimo fará coisas admiráveis."*

José de Alencar

*Aos meus pais, Digelson e Maristela, co-autores da minha história,  
Aos meus irmãos, Digelson Jr e Pollyanna, que sempre me deram apoio.  
Aos meus avós, Jacira, Nilson, Eunice e Rogério que são meus exemplos de  
vida.*

*A todos eles que não mediram esforços para tornar este sonho,  
não só meu, mas nosso, em realidade!*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo único motivo da minha existência, e por ter me conduzido durante minha vida, dando-me discernimento e sabedoria para que alcançasse mais este objetivo.

À Dr Simone Palma Fávaro, que foi muito mais que uma orientadora, foi uma amiga e mãe. Obrigada pela liberdade e confiança, além da indiscutível amizade e compreensão em momentos difíceis. Com a 'senhora' eu percebi que o aprendizado é uma construção diária cujo ingrediente principal é o afeto.

Ao meu Co-orientador Renato Roscoe, pelas orientações e ensinamentos.

A coordenadora do curso de agronomia Rúbia Renata Marques, agradece-lhe por não ser "só" uma coordenadora e professora, mas, por ser uma amiga que me apoiou e incentivou durante a fase de graduação e mestrado. Também agradeço pela disponibilidade de ajuda na estatística.

Ao Meu amigo Ruy Caldas, que me acolheu como filha. Ao longo dos dias que passamos juntos, me transmitiu ensinamentos e pingos de sabedoria.

Ao Lucas Bearari Martins, que me ajudou durante a fase experimental, este foi meu fiel escudeiro. Juntos fizemos várias aventuras, nos quais vou me lembrar e rir muito. Para mim, tantos os momentos bons quanto os cansativos, porém divertidos, foram uma troca de experiência e crescimento profissional que levarei na bagagem da minha vida.

À Ângela Alves Nunes, que esteve ao meu lado desde a graduação, ajudando a colocar tijolo por tijolo na construção deste sonho.

À Maria Helena, que foi a minha Maria Auxiliadora, não mediu esforços para que eu conclui-se as análises laboratoriais. Entre uma análise e outra me transmitia ensinamentos de vida e não posso esquecer da hora do café, era a hora mais feliz do dia.

Aos tantos secretários que passaram pelo programa, sempre dispostos a me ajudar no que fosse preciso.

Aos colaboradores dos laboratórios do Bio-saúde, que me auxiliaram em diversas atividades.

À minha amiga Jackeline, que nas horas vagas se colocava a disposição para me ajudar, alegrando os dias que passávamos juntas no laboratório e principalmente na despensa da macaúba.

À Gabrielly Ciconini, que ajudou e incentivou no início do projeto. Foram poucos os momentos que passamos juntas, apenas 2 anos, mas foi o suficiente para construir um grande elo de amizade e profissionalismo.

À família “Laboratório de Matérias-Primas”, que de uma forma ou outra influenciou na minha vida acadêmica, são eles: Meyriane, Gustavo, Gabriel, Lucas Braga, Amanda, Andressa, Zizelina, Jaice, Márcio, Maria Amélia, e a todos os colegas de mestrado pelo companheirismo nas aulas.

Ao coordenador da Fazenda - Escola UCDB, que disponibilizou espaço e colaboradores para eu realizar parte da etapa em campo.

À Embrapa Pantanal, pela ajuda na realização na coleta de frutos na região de Corumbá.

À Embrapa Agroenergia, que disponibilizou equipamentos e colaboradores para que eu realizasse algumas análises bioquímicas.

À Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, por ter docentes capacitados a transmitir conhecimento.

Ao Sr Ernst Ferter, pelo Macaubal oferecido e disponibilidade para me ajudar na instalação do experimento dos coletores.

Ao Jânio Padilha e a Empresa RM Ltda., pela fabricação dos coletores.



## BIOGRAFIA DO AUTOR

Crissia Fernanda Tapeti de Souza, filha de Digelson Pazeto de Moraes e Maristela Lero Tapeti, nasceu em Campo Grande, no Estado de Mato Grosso do Sul em 15 de fevereiro de 1989.

Em dezembro de 2010 concluiu o curso de Agronomia pela Universidade Católica Dom Bosco.

Em fevereiro de 2011 iniciou o Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, em nível de Mestrado, na Universidade Católica Dom Bosco, realizando estudos na área de colheita e pós-colheita.

No dia 27 de fevereiro de 2013 submeteu-se à banca para defesa da Dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT .....	xiv

### CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO .....	01
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	03
2.1. Cenário dos óleos vegetais .....	03
2.2. Óleos.....	07
2.2.1. Descrição .....	07
2.2.2. Ácidos graxos .....	08
2.3. Qualidade do óleo .....	11
2.3.1. Rancidez .....	12
2.3.1.1. Rancidez hidrolítica .....	12
2.3.1.2. Rancidez oxidativa .....	12
2.4. <i>Acromomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex. Mart.....	15
2.4.1. Sinonímia popular.....	17
2.4.2. Morfologia e fenologia .....	18
2.4.3. Distribuição geográfica .....	22
2.4.4. Potencialidade e utilização .....	23
2.4.5. Lipogênese.....	26
3. OBJETIVOS .....	29

3.1. Objetivo geral .....	29
3.2. Objetivo específico (Capítulo 02) .....	29
3.3. Objetivo específico (Capítulo 03) .....	29
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## CAPÍTULO 2

1. Sistema de colheita de frutos de macaúba.....	38
2. Resumo .....	38
3. Introdução .....	38
4. Material e métodos .....	40
5. Resultados e discussão.....	44
6. Conclusão .....	55
7. Referências .....	55

## CAPÍTULO 3

1. Uniformidade de maturação dos frutos no cacho de macaúba nativas do Pantanal e Cerrado .....	60
2. Resumo .....	60
3. Introdução .....	60
4. Material e métodos .....	62
5. Resultados e discussão.....	65
6. Conclusão .....	70
7. Referências .....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Evolução da produção mundial de óleos vegetais.....	03
Quadro 02. Cenário atual do consumo mundial de óleos vegetais .....	04
Quadro 03. Produção brasileira de oleaginosas nos últimos anos .....	05
Quadro 04. Nomenclatura de alguns ácidos graxos.....	10
Quadro 05. Perfil de ácidos graxos de óleos vegetais .....	11
Quadro 06. Características de produção de oleaginosas.....	24
Quadro 07. Uso associados as distintas partes de <i>Acrocomia aculeata</i> .....	26

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

Tabela 01. Perfil de ácidos graxos insaturados do óleo de polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012..... 55

### CAPÍTULO 3

Tabela 01. . Parâmetros biométricos nas porções apical, mediana e distal do cacho de frutos de macaúbas nativas dos biomas Cerrado (Dourados) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul..... 65

Tabela 02. Diâmetros de frutos inteiros e coquinho de macaúba em porções do cacho nos biomas Cerrado (Dourados) e Pantanal (Corumbá) do estado de Mato Grosso do Sul..... 66

Tabela 03. Umidade e teor de lipídeos na polpa de frutos de macaúba em porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá) do estado de Mato Grosso do Sul..... 67

Tabela 04. Atividade enzimática na polpa dos frutos de macaúba em porções do cacho no bioma Cerrado (Itaum) do estado de Mato Grosso do Sul..... 68

Tabela 05. Acidez e índice de peróxidos em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul..... 68

Tabela 06. Absortividades molares e teor de carotenoides em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul..... 69

Tabela 07. Perfil de ácidos graxos em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho, nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul..... 69

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 01. Evolução da produção brasileira do biodiesel. ....	06
Figura 02. Formação de um triacilglicerol por reação de esterificação entre três moléculas de ácidos graxos e uma de glicerol .....	07
Figura 03. Triacilglicerol misto .....	08
Figura 04. Ácido graxo .....	09
Figura 05. Ácido graxo saturado e insaturado .....	09
Figura 06. Algumas rotas de decomposição de hidroperóxidos .....	13
Figura 07. Efeito da oxidação de lipídeos.....	14
Figura 08. Vista geral da macaúba.....	16
Figura 09. Estipe da macaúba.....	18
Figura 10. Vista geral da copa da macaúba e folha da macaúba.....	19
Figura 11. Espata da macaúba .....	19
Figura 12. Inflorescência da macaúba.....	20
Figura 13. Cachos de macaúba; Frutos fresco de macaúba; Amêndoa de macaúba; Casca desidratada de macaúba; Polpa desidratada de macaúba; Coquinho de macaúba. ....	21
Figura 14. Distribuição espacial da espécie <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Loddiges ex Mart.....	23

### CAPÍTULO 2

Figura 01. Frutos de macaúba dispostos em torno do caule da palmeira, abaixo do coletor.....	41
Figura 02. Frutos de macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> Jacq. Lodd.) mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	45

Figura 03. Diâmetro maior e menor de frutos de macaúba ( <i>Acrocomia aculeata</i> Jacq. Lodd.), mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	46
Figura 04. Umidade na polpa de macaúba e massa de frutos inteiros mantidos no campo em sistema coletor, Itaum,/MS, dezembro/2011 e janeiro/2012.....	47
Figura 05. Teor de lipídeos na polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	48
Figura 06. Atividade de lipase em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	48
Figura 07. Atividade de água em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	49
Figura 08. Atividade de peroxidase em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Dourados/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	50
Figura 09. Teor de ácidos graxos no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	51
Figura 10. Absortividade Molar a 232 nm e 270 nm no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	52
Figura 11. Peróxidos no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	53
Figura 12. Carotenóides totais no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.....	54

### CAPÍTULO 3

Figura 01. Cacho de macaúba dividido em três porções: apical, mediana e distal.....	62
---	----

## RESUMO

Frente às buscas incessantes por novos patamares de rendimento de óleo com maior adensamento energético de espécies oleaginosas, tem-se perspectivas reais da utilização da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*), como matéria-prima para fins energéticos e alimentícios. Pois, além da sua alta produtividade, que pode chegar a 5.000 kg de óleo<sup>-1</sup>, apresenta amplitude de utilizações que não se restringe a uma única cadeia produtiva e adaptabilidade a diversos biomas. Este estudo teve o objetivo de investigar o desenvolvimento e maturação dos frutos de macaúba e definir sistema adequado de colheita. No primeiro estudo, frutos de macaúba foram coletados na Fazenda Paraíso, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, distrito de Itaum, município de Dourados (22°05'43.52"S e 55°20'53.26" O), no período de dezembro/2011 e janeiro/2012. Em cada planta foi instalado um coletor composto de sistema de captação e armazenamento dos frutos (produto em fase de registro de patente). Os tempos de permanência dos frutos no campo foram de 1, 6, 11, 16, 2126 e 31 dias. Avaliou-se a biometria dos frutos, a polpa foi avaliada quantitativamente em relação à umidade, teor de lipídeos, atividade de água, atividade específica de lipase e peroxidase. A qualidade do óleo foi monitorada quanto a acidez, absorvidade molar a 232 e 270 nm, carotenóides totais, índice de peróxido e perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa. Os resultados nos permitem concluir que os frutos de macaúba podem permanecer no campo em contentores idealizados num sistema inovador de colheita por até 10 dias após sua abscisão, com sua qualidade preservada. No segundo estudo, foram monitoradas dez palmeiras de macaúba no município de Corumbá (bioma Pantanal, 19°17.589 S e 57°64.217 W) e dez em Itaum (Distrito de Dourados) (bioma Cerrado, 22°05'43.52"S e 55°20'53.26" W) no Estado de Mato Grosso do Sul, no período de novembro/2010 e dezembro/2012, respectivamente. Selecionou-se um cacho de cada planta e o separou em três porções: apical, mediana e distal. Foram realizadas as seguintes análises em cada porção do cacho: frutos inteiros foram caracterizados biometricamente, a polpa foi avaliada quantitativamente em relação à umidade, teor de lipídeos, atividade específica de lipase e peroxidase. A qualidade do óleo, extraído a frio com éter de petróleo, foi



monitorada quanto a acidez, absorvidade molar a 232 e 270 nm, carotenóides totais, índice de peróxido e perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa. Para todos os parâmetros qualitativos e quantitativos avaliados, observou-se que a diferença entre as porções do cacho foram mínimas. Conclui-se que os frutos de macaúba, tanto no bioma Pantanal quanto Cerrado, apresentam uniformidade de desenvolvimento e composição em todo o cacho, podendo ser colhidos inteiros.

**Palavras – chave:** *Acrocomia acuelata*, ácidos graxos, lipase, peroxidase, biometria, rancidez.

## ABSTRACT

Faced with the ceaseless search for new heights in oil yield with higher energy density oleaginous species, has real prospects of using palm macaúba (*Acrocomia aculeata*), as raw material for energy and food. Because in addition to its high productivity, which can reach 5,000 kg of oil-1 shows breadth of uses that is not restricted to a single production chain and adaptability to different biomes. This study aimed to investigate the development and maturation of fruits macaúba system and set appropriate harvest. In the first study, fruits were collected in macaúba Paradise Farm, located in the state of Mato Grosso do Sul, Itaum district, city of Gold ( $22^{\circ} 05'43.52''$  S and  $55^{\circ} 20'53.26''$  W), in period December/2011 and janeiro/2012. In each plant was installed consisting of a collector system for capturing and storing fruits (product under patent registration). The residence time of fruit in the field were 1, 6, 11, 16, and 31 days in 2126. We evaluated the biometrics of fruit pulp was evaluated quantitatively in relation to moisture, lipid content, water activity, specific activity of lipase and peroxidase. Oil quality was monitored for acidity, molar absorptivity at 232 and 270 nm, carotenoids, peroxide and fatty acid profile by gas chromatography. The results allow us to conclude that the fruits of macaúba can stay on the field in an idealized container harvest innovative system for up to 10 days after abscission, with its quality preserved. In the second study, we monitored ten palm macaúba the city of Corumbá (Pantanal biome,  $19^{\circ}$  S and  $57^{\circ} 17.589$  W 64 217) and ten in Itaum (Gold District) (Cerrado biome,  $22^{\circ} 05'43.52''$  S and  $55^{\circ} 20'53.26''$  W) in the State of Mato Grosso do Sul, between November, 2010 and December 2012, respectively. Selected a bunch of each plant and separated into three portions: apical, medial and distal. The following analyzes were performed on each portion of the bunch: Whole fruits were characterized biometrically, the pulp was evaluated quantitatively in relation to moisture, lipid content, specific activity of lipase and peroxidase. The quality of the oil, cold extracted with petroleum ether, was monitored for acidity, molar absorptivity at 232 and 270 nm, carotenoids, peroxide and fatty acid profile by gas chromatography. For all the qualitative and quantitative parameters evaluated, it was observed that the difference

between the portions of the cluster were minimal. It is concluded that the fruits macaúba, both as Pantanal biome Cerrado present development and composition uniformity across the cluster, can be harvested integers.

**Key - words:** *Acrocomia acuelata*, fatty acids, lipase, peroxidase, biometrics, rancidity.

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

Frente às buscas incessantes por novos patamares de rendimento de óleo com maior adensamento energético de espécies oleaginosas, tem-se perspectivas reais da utilização da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata*), como matéria-prima para fins energéticos e alimentícios. Além da sua alta produtividade, que pode chegar a 5.000 kg de óleo ha<sup>-1</sup>, apresenta amplitude de utilizações que não se restringe a uma única cadeia produtiva e adaptabilidade a diversos biomas.

Atualmente, o óleo de palma (*Elaeis guineensis*) é o mais produzido e consumido do mundo. Entretanto a cultura apresenta restrições de cultivo, principalmente em função de fatores climáticos (temperatura e pluviometria), não podendo ser produzida nas regiões de Cerrado e Pantanal com a tecnologia atualmente disponível. A macaúba, por sua vez, tem ampla adaptação a essas regiões, encontrando-se maciços de ocorrência natural nas áreas supramencionadas.

Porém, existem desafios em diversos setores e processos para a estruturação da cadeia produtiva de macaúba como fonte de óleo e biomassa. Faltam desde estudos básicos sobre o processo de síntese e acúmulo de óleo, denominado lipogênese, até processos industriais eficientes na extração do óleo. A colheita tem sido praticada recolhendo-se diretamente os frutos caídos ao chão. Isso induz a perda de qualidade e produção de óleo, sobretudo o de polpa.

O contato dos frutos com o solo promove contaminação microbiana, levando à rápida degradação com consequentes perdas quantitativa e qualitativa de óleo. A coleta dos frutos da macaúba caídos ao chão tem se mostrado inviável para a produção em larga escala. Como se sabe, a macaúba carece de estudos básicos que forneçam suporte para o estabelecimento de um sistema de colheita técnica, economicamente eficaz, que são considerados alicerces para a estruturação de sua cadeia produtiva. A segurança do consumo alimentar na nutrição humana e animal dos coprodutos também fica comprometida pela potencial contaminação por micotoxinas em farelos e tortas.

Na cultura do dendezeiro, o processo de colheita foi estabelecido com base em estudos de lipogênese que permitiram definir a época mais adequada à retirada do cacho inteiro, sem prévio contato com o solo, conciliando rendimento e qualidade de óleo.

São inexistentes na literatura dados científicos consistentes sobre a uniformidade de maturação do cacho de macaúba. Tais informações poderiam indicar a possibilidade de colheita do cacho inteiro, em operação única, garantindo qualidade e rendimento satisfatório em escala comercial. Caso não seja possível a colheita do cacho inteiro em etapa única devido à comprovação da desuniformidade da maturação dos frutos no cacho, ou em função de custos de colheita, a estratégia seria a retenção dos frutos que se desprendem naturalmente dos cachos em uma estrutura contentora, que permitiria a retirada dos frutos em intervalos adequados, assegurando os parâmetros de qualidade do óleo, rendimento e economicidade.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Cenário dos óleos vegetais

O acréscimo na demanda e consumo global por óleos vegetais têm se acentuado, substituindo grande parte do consumo de gorduras animais. Frente às buscas incessantes por fontes de energia renováveis este mercado está cada vez mais competitivo, na descoberta de novas alternativas que possam suprir a oferta (Nunes, 2007).

Anteriormente, este mercado era caracterizado pela competitividade entre óleos provenientes de animais e vegetais. Até a década de 60, a gordura animal predominou como principal fonte de óleo para consumo humano (Osaka e Batalha, 2008).

Atualmente, os óleos de origem vegetal competem entre si, utilizados de forma mais saudável para o consumo humano e na utilização em processos industriais, principalmente na geração de energia, como uma alternativa de combustível renovável.

A oferta de óleo vegetal foi ampliada com a expansão do cultivo da palma (*Elaeis guineensis*) e da soja (*Glycine max*) no mundo (Osaka e Batalha, 2008). Entre 1974/75 e 2006/07 a produção mundial de óleos vegetais passou de 25,7 milhões de toneladas para 153 milhões de toneladas em 2012 (USDA, 2012) (Quadro 01).

Quadro 01. Evolução da produção mundial de óleos vegetais (milhões toneladas).

<b>Oleaginosas</b>	<b>74/75</b>	<b>84/85</b>	<b>94/95</b>	<b>00/01</b>	<b>04/05</b>	<b>05/06</b>	<b>06/07</b>	<b>11/12</b>
Palma	2,89	6,75	14,89	24,30	33,88	35,96	37,67	50,57
Soja	6,48	10,20	19,85	26,76	32,51	34,52	35,87	42,03
Colza	2,44	5,55	10,01	13,32	15,76	17,17	18,24	23,37
Girassol	3,87	6,13	8,29	8,39	9,04	10,39	10,73	14,07
Algodão	2,93	3,76	3,59	3,53	4,71	4,57	4,73	5,38
Palmiste	0,42	0,90	1,91	3,06	4,13	4,36	4,57	5,88
Amendoim	2,74	2,88	4,12	4,54	5,07	5,17	4,98	5,17
Côco	2,55	2,54	3,40	3,60	3,44	3,46	3,30	3,69
Oliva	1,38	1,58	1,76	2,49	2,97	2,59	2,99	3,06
<b>Total</b>	<b>25,70</b>	<b>40,29</b>	<b>57,62</b>	<b>89,97</b>	<b>95,74</b>	<b>118,18</b>	<b>123,08</b>	<b>153,21</b>

Fonte: USDA (2012).

A produção mundial do óleo de palma aumentou em aproximadamente 1.700%. Considerando os dois óleos do dendezeiro, óleo de palma

(proveniente da polpa) e palmiste (proveniente da amêndoa) o total produzido ultrapassa 55 milhões de toneladas.

O óleo de palma é atualmente o mais consumido no mundo (Quadro 02). No ano de 2012 a diferença entre o total produzido e o consumido gerou um saldo positivo de 3 milhões de toneladas (USDA, 2012).

**Quadro 02.** Cenário atual do consumo mundial de óleos vegetais (milhões de toneladas).

<b>Fonte oleaginosa</b>	<b>2007/08</b>	<b>2008/09</b>	<b>2009/10</b>	<b>2010/11</b>	<b>2011/12</b>
Palma	39,32	42,09	44,51	47,15	49,60
Soja	37,72	35,97	38,23	40,97	42,07
Colza	18,25	20,15	22,42	23,30	23,35
Girassol	9,11	10,63	11,39	11,32	12,99
Algodão	5,12	4,77	4,63	4,84	5,22
Palmiste	4,55	4,91	4,98	4,96	5,46
Amendoim	4,78	4,89	4,83	5,13	5,17
Côco	3,44	3,39	3,88	3,89	3,95
Oliva	2,88	2,95	2,99	3,02	3,04
<b>Total</b>	<b>125,16</b>	<b>129,73</b>	<b>137,85</b>	<b>144,57</b>	<b>150,84</b>

Fonte: USDA (2012).

Desde os anos de 2004 e 2005 o óleo de palma vem liderando o ranking da produção mundial de óleos (Lipid Library, 2011).

A produção de óleos é destinada majoritariamente para a alimentação (80%), apesar do aumento no uso industrial, alavancado pela síntese de biodiesel. Na safra 2006/2007 foram consumidas 107 milhões de toneladas de óleos vegetais, sendo 85,77 milhões de toneladas para fins alimentares e 21,38 milhões para fins industriais (Amaral, 2010; Nunes, 2007).

No Brasil, o óleo de soja é o mais produzido, seguido pelo óleo extraído do caroço de algodão (Quadro 03). O consumo anual no país de óleos vegetais entre os anos de 2000 a 2007 foi de aproximadamente 3,7 milhões de toneladas, sendo que o consumo de óleo de soja nestes mesmos anos foi de 3,2 milhões de toneladas, ou seja, 86% do total consumido (Nunes, 2007). O crescimento anual previsto para a produção é de 2,3% no período de 2010/11 a 2020/2021. Esse aumento está semelhante à taxa mundial para os próximos dez anos, estimada pelo Food and Agricultural Policy Research Institute, em 2,3% ao ano (Fapri, 2009).

**Quadro 03.** Produção brasileira de oleaginosas nos últimos anos (mil toneladas).

Oleaginosas	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12
Soja	51450	55030	58390	60020	57179	68690	75230	66680
Algodão	2129	1686	2384	2505	1891	1843	3229	3222
Palma	550	560	590	660	759	914	1130	*
Amendoim	301,6	267,7	225,7	303,1	300,6	226	226,5	296,7
Mamona	210	104	94	123	93	101	141	73
Girassol	68,1	93,6	106,1	147,1	109,4	80,6	83,1	112,8
Canola	55	71	76	77,5	77,5	42,2	69,7	51,3

\* Não informado. Fonte: Adaptado de Brasil (2012).

O mercado da soja está baseado, sobretudo, no fornecimento de proteína na forma de farelo para ração animal (Osaka e Batalha, 2008). O óleo pode ser considerado um subproduto nesta cadeia produtiva. O rendimento de óleo da soja é baixo, cerca de 500 kg ha<sup>-1</sup> (Laviola, 2009).

Atualmente, o óleo diesel vendido no Brasil recebe a adição de biodiesel. Isto porque o governo federal brasileiro em 2004 implantou o Programa Nacional de Produção e uso de biodiesel (PNPB). O PNPB surgiu com o compromisso de viabilizar a produção e o uso do biodiesel no Brasil, com foco na competitividade, na qualidade do biocombustível produzido, na garantia de segurança de seu suprimento, na diversificação das matérias primas, no fortalecimento das potencialidades regionais para produção, e, prioritariamente, na inclusão social de agricultores familiares (Brasil, 2011b).

Em 13 de janeiro de 2005 foi publicada a lei nº 11.097, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Foi definido o cronograma de adição progressiva de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em todo o território nacional. O cronograma previa inicialmente a autorização da mistura B2, ou seja, 2% de biodiesel no óleo diesel oriundo do petróleo, no período compreendido entre janeiro de 2005 e dezembro de 2007. Antecipando o cronograma original, o percentual de mistura obrigatória foi aumentado para 3% a partir de julho de 2008, para 4% a partir de julho de 2009 e, finalmente, para 5% a partir de janeiro de 2010 (Brasil, 2011b).

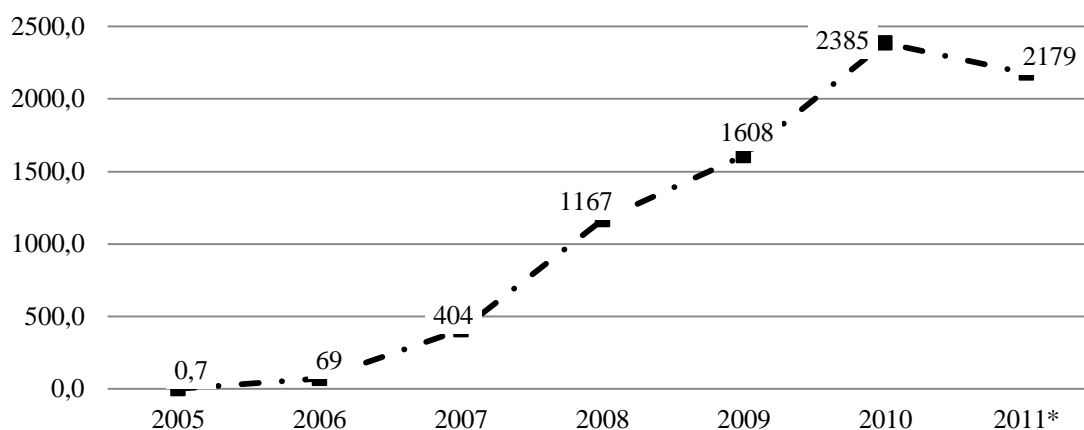
O governo vem estudando hipóteses para aumentar o percentual de biodiesel no óleo diesel, estabelecendo um novo cronograma de aumento gradual da mistura exigida em lei. Segundo a Associação dos Produtores de



Biodiesel do Brasil – APROBIO (2011), a expectativa é de se chegar em 2014 com 10% de mistura e em 2020 com 20%.

Como resultado do avanço da implantação do PNPB, em 2010 o Brasil se tornou o segundo maior produtor mundial de biodiesel, sendo superado apenas pela Alemanha (Oil World, 2011). Segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2011a), a produção brasileira de biodiesel atingiu 2,4 bilhões de litros em 2010, o que contribuiu para a redução das importações de óleo diesel e a melhoria do saldo de divisas do país.

A produção brasileira de biodiesel (Figura 01) cresceu significativamente desde o lançamento do PNPB, sobretudo, a partir do início da vigência do regime mandatório de mistura, passando de 736 m<sup>3</sup>, em 2005, para 2,385 milhões de m<sup>3</sup>, em 2010 (ANP 2011b).



**Figura 01.** Estimativa da evolução da produção brasileira do biodiesel (em milhares de m<sup>3</sup>). \*Produção acumulada de janeiro a outubro. Fonte: ANP (2011b).

De acordo com dados do Ministério de Minas e Energia (2012) – MME, as principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel são a soja (79,5%), gordura bovina (17,3) e algodão (1,6%) (MME, 2012).

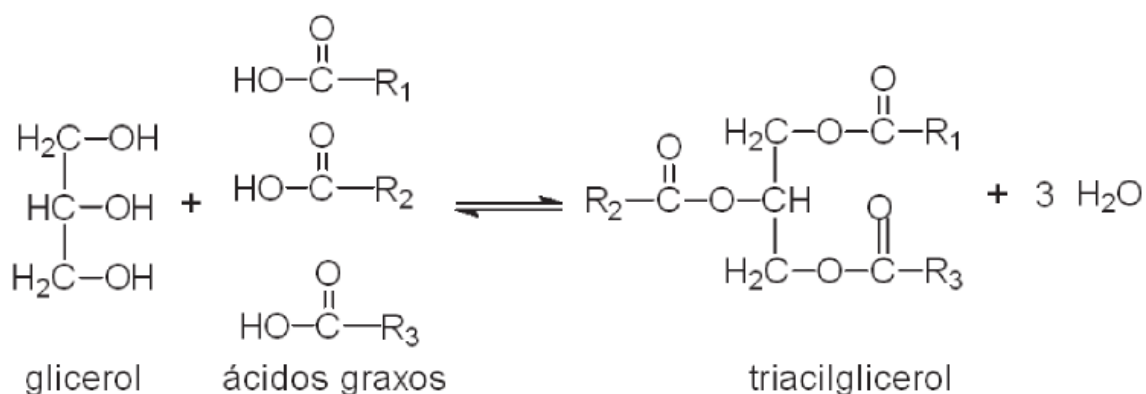
O mercado de óleos e gorduras é promissor. Para atendê-lo é necessário que se busquem espécies que possuam alta densidade energética e cadeias produtivas com sustentabilidade econômica, social e ambiental.

## 2.2 Óleos

### 2.2.1 Descrição

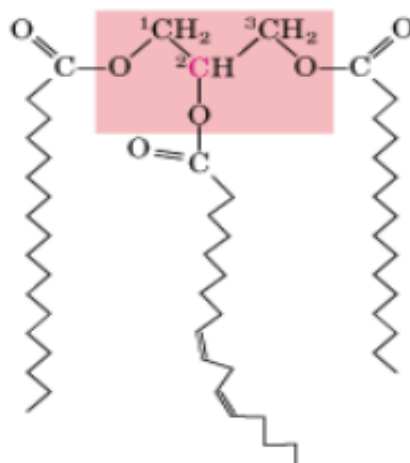
Óleos são substâncias insolúveis em água (hidrofóbicas), de origem vegetal ou mesmo microbiana, formada predominantemente de produtos de condensação entre glicerol e ácidos graxos, chamados triglicerídeos. Os óleos vegetais representam um dos principais produtos extraídos das plantas (Faria *et al.*, 2002) e cerca de dois terços são usados em produtos alimentícios fazendo parte da dieta humana (Oil World, 2002).

Os triacilgliceróis, também conhecidos por triglicerídeos, são formados pela união de três ácidos graxos a uma molécula de glicerol através de ligações éster (Figura 02). Aqueles que possuem o mesmo tipo de ácido graxo nas três posições são chamados de triacilgliceróis simples, e sua nomenclatura é derivada do ácido graxo que o contém (Schuchardt, Shercheli, e Vargas, 1998).



**Figura 02.** Formação de um triacilglicerol por reação de esterificação entre três moléculas de ácidos graxos e uma de glicerol. \*R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> e R<sub>3</sub>: Ácidos graxos. Fonte: Adaptado de Schuchardt, Shercheli, e Vargas (1998).

Os triacilgliceróis naturais são geralmente mistos, pois são formados de dois ou três ácidos graxos diferentes, e sua nomenclatura é realizada especificando o nome e a posição de cada ácido graxo (Figura 03) (Nelson e Cox, 2011).



### 1-estearoil, 2-linoleoil, 3-palmitoil glicerol

**Figura 03.** Triacilglicerol misto. Fonte: Nelson e Cox (2011).

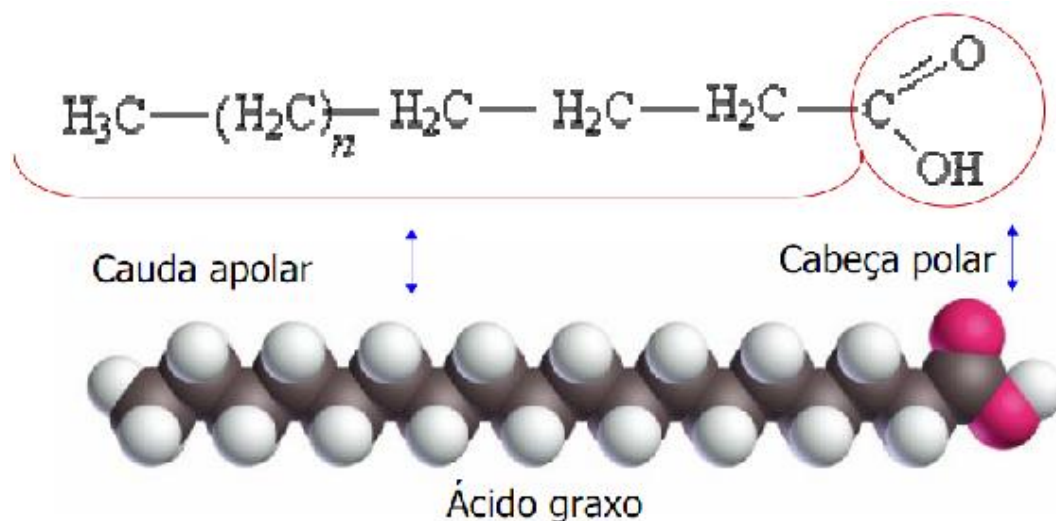
Além de triacilgliceróis os óleos contêm vários componentes em menor proporção, como mono e diglicerídeos (importantes como emulsionantes); ácidos graxos livres; tocoferol (importante antioxidante); proteínas, esteróis e pró-vitaminas (Faria *et al.*, 2002).

Os lipídeos, juntamente com as proteínas e os carboidratos, são fontes de energia, apresentando grande importância para a indústria, na produção de ácidos graxos, glicerina, lubrificantes, carburantes, biodiesel, além de inúmeras outras aplicações (Ferrari *et al.*, 2003).

#### 2.2.2 Ácidos graxos

Os ácidos graxos (Figura 04) são ácidos carboxílicos (um dos carbonos possui COOH) com cadeias de hidrocarbonetos (ligações entre átomos de carbono e hidrogênio) de diversos tamanhos, podendo variar de 4 a 36 carbonos, constituindo os óleos e gorduras (Moretto *et al.*, 2002).

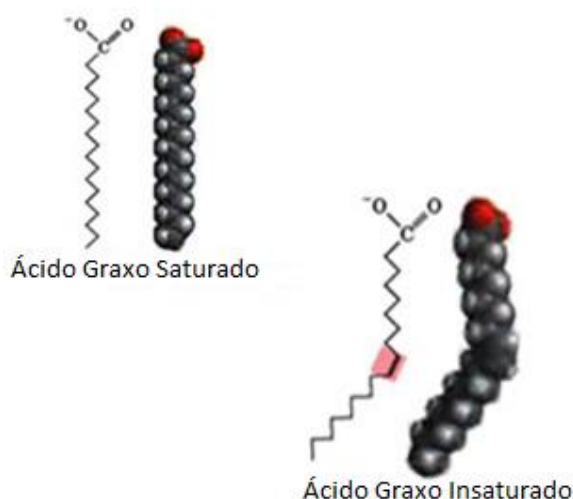
O tamanho da cadeia carbônica determina a classificação dos ácidos graxos em: cadeia curta - de dois a quatro átomos de carbono; cadeia média - de seis a dez átomos de carbono e cadeia longa - acima de doze átomos de carbono (Graziola *et al.*, 2002).



**Figura 04.** Ácido Graxo. Fonte: Chaves e Mello-Farias (2008).

A cadeia hidrocarbonada não é ramificada e possui um grupo carboxila terminal, possuindo natureza anfipática (tendo uma região hidrofílica e outra hidrofóbica). Quanto maior for a cadeia hidrocarbonada mais elevada é a característica apolar do ácido graxo (Chape *et al.*, 2002).

Os ácidos graxos podem ser saturados (Figura 05), quando contêm apenas ligações simples entre os carbonos e pouca reatividade química; ou insaturados (Figura 05), com uma ou mais ligações duplas no seu esqueleto carbônico, são mais reativos e mais suscetíveis à termoxidação (Giese, 1996).



**Figura 05.** Ácido graxo saturado e insaturado. Fonte: Voet e Voet (2006).

O número de insaturações na cadeia carbônica classifica os ácidos graxos como (Graziola *et al.*, 2002):

- Monoinsaturados: possuem uma insaturação na molécula;

- Poli-insaturados: possuem mais de uma insaturação na molécula

Existem diversas nomenclaturas aplicadas aos ácidos graxos. Uma bastante utilizada é a ômega ( $\omega$ ), em que o átomo de carbono adjacente ao carbono carboxílico é designado  $\alpha$ , e os carbonos seguintes são nomeados  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , etc. O átomo de carbono mais distante do carbono carboxílico é chamado de carbono  $\omega$  e, a partir dele, as duplas ligações são numeradas.

A nomenclatura dos ácidos graxos (Quadro 04) é expressa pelo número da dupla ligação mais próxima ao carbono  $\omega$  que precede o nome do ácido graxo. Outra é a nomenclatura sistemática da união internacional de química pura e aplicada (IUPAC). É realizada especificando a posição das duplas ligações, que são numeradas a partir do ácido carboxílico, antes do nome do ácido graxo (Motta, 2011).

**Quadro 04.** Nomenclaturas de ácidos graxos.

Símbolo	Nome IUPAC	Nome comum	Fórmula estrutural
4:0	Butanóico	Butírico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
6:0	Hexanóico	Capróico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
8:0	Octanóico	Caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
10:0	Decanóico	Cáprico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
12:0	Dodecanóico	Láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
14:0	Tetradecanóico	Mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
16:0	Hexadecanóico	Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
16:1	9-hexadecenóico	Palmitoleico ( $\omega 7$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18:0	Octadecanóico	Estearico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
18:1	9- <i>cis</i> octaecenóico	Oleico ( $\omega 9$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18:2	9,12 –Octadecadienóico	Linoleico ( $\omega 6$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
18:3	9,12,15 – Octadecatrienóico	Linolênico ( $\omega 3$ )	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
20:0	Eicosanóico	Araquídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
20:4	5,8,11,14 - Eicosatetraenóico	Araquidônico ( $\omega 6$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
20:5	5,8,11,14,17- Eicosapentaenóico	EPA ( $\omega 3$ )	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
22:0	Docosanóico	Behênico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
22:1	13-Docosenoico	Erúico ( $\omega 9$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
22:5	7,10,13,16,19- Docosapentaenóico	( $\omega 3$ )	
22:6	4,7,10,13,16,19- Docosahexaenóico	Cervônico ( $\omega 6$ )	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_6\text{CH}_2\text{COOH}$
24:0	Tetracosanóico	Lignocérico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$
24:1	15-tetracosenóico	Nervônico ( $\omega 9$ )	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$

Fonte: Adaptado de Voet e Voet (2006); Fennema (2000); Belitz e Grosch (1992).

A composição em ácidos graxos é distinta entre espécies vegetais, além da possibilidade de variabilidade intraespecífica. O Quadro 05 apresenta o perfil de ácidos graxos de alguns óleos vegetais comestíveis.

**Quadro 05.** Perfil de ácidos graxos de óleos vegetais.

Ácidos graxos	Azeite de oliva (europeu)	Óleo de palma	Óleo de Canola	Óleo de Soja	Óleo da polpa de macaúba
Láurico (C12:0)	-	0,23	-		-
Mirístico (C14:0)	-	1,09	0,10	0,10	-
Palmítico (C16:0)	8,40	44,02	3,60	10,80	21,89
Palmitoleico (C16:1)	0,70	0,12	0,20	0,30	3,62
Estearico (C18:0)	2,50	4,54	1,50	4,00	2,07
Oleico (C18:1)	78,00	39,15	61,60	23,80	57,48
Linoleico ( $\omega$ 6) (C18:2)	8,30	10,12	21,70	53,30	7,05
Linolênico ( $\omega$ 3) (C18:3)	0,80	0,37	9,60	7,60	1,27
Araquídico (C20:0)	0,50	0,38	0,60	-	-
Behênico (C22:0)	0,10	-	0,30	-	-
Lignocérico (C24:0)	0,20	-	0,20	-	-

Fonte: Basiron (2005); Firestone (2005); Hammond *et al.*, (2005); Przybylski *et al.*, (2005); Ciconini *et al* (2012).

O óleo da polpa de macaúba por apresentar predominância do ácido graxo insaturado tipo oleico apresenta grande semelhança ao azeite de oliva (Quadro 05), no que se refere ao percentual de saturação e a composição dos ácidos graxos em maior quantidade, o que a consagra entre os óleos de alta qualidade para fins comestíveis (Andrade *et al.*, 2006).

### 2.3 Qualidade do óleo

Os ácidos graxos são constituintes dos óleos e gorduras. Grande quantidade de ácidos graxos livres indica que o produto está em acelerado grau de deterioração. Tem-se observado elevado teor de ácidos graxos livres na macaúba, o que dificulta sua utilização para a produção de biodiesel e para indústria alimentícia. Existem relatos que esta chegou a 11,82 % de ácidos graxos livres (% ácido oleico) (Ciconini *et al.*, 2010). Elevados teores de ácidos graxos livres no óleo acarretam a diminuição qualitativa e quantitativa, ou até mesmo inviabilidade do produto. Atualmente não existe requisitos específicos para óleo de macaúba.

Deve-se caminhar para o estabelecimento de uma normativa para os padrões de qualidade e identidade do óleo bruto de macaúba de maneira que o mercado seja regulamentado e os preços balizados.

### 2.3.1 Rancidez

A rancidez é o principal tipo de deterioração sensorialmente detectável em óleos e gordura. Existe a rancidez hidrolítica e a oxidativa, como consequência provoca a deterioração do sabor, odor e aparecimento de ranço, depreciação do produto e perda do valor comercial. Ocorre também redução do valor nutritivo por oxidação das proteínas pelos peróxidos, alterando suas texturas e funcionalidade e modificação das vitaminas com perda da cor e valor nutricional (Moretto e Felt, 1998).

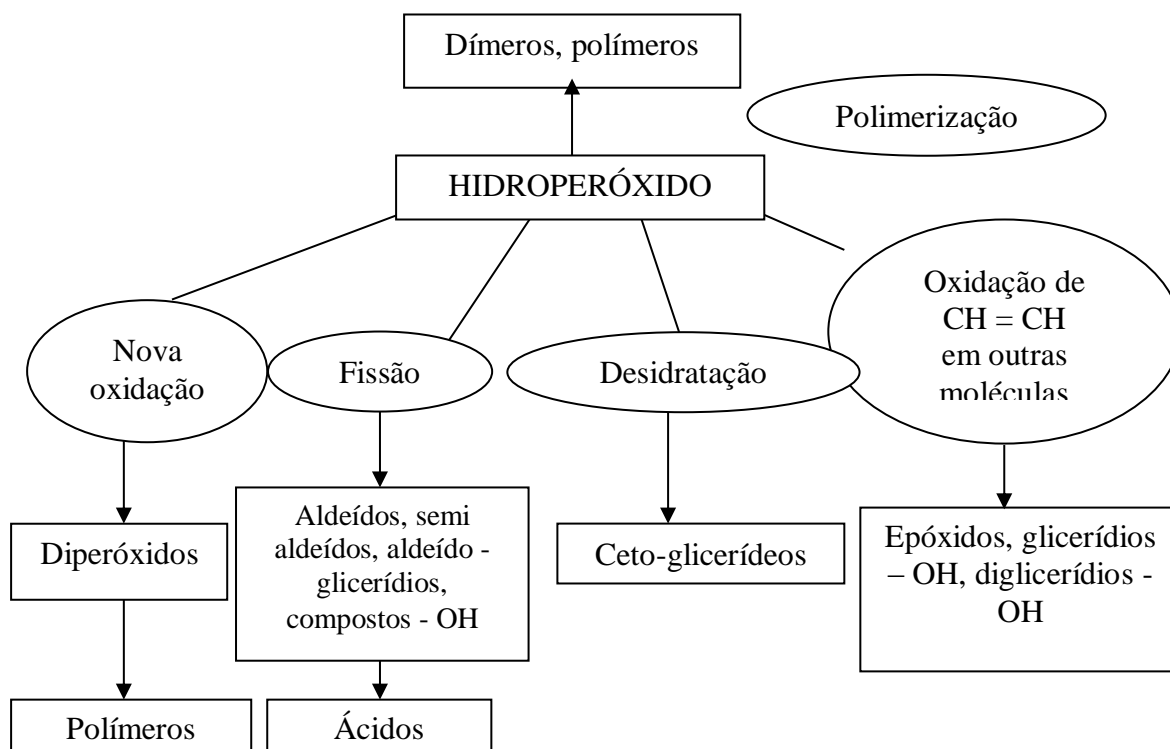
#### 2.3.1.1 Rancidez hidrolítica

A rancidez hidrolítica é o processo que se traduz no aumento progressivo de ácidos graxos livres, por ação hidrolítica enzimática ou não, a partir dos ácidos graxos liberados dos triglicerídios, fosfatídios e glicolipídios. A presença de água faz com que a rancidez ocorra com maior facilidade, condição a qual permite a hidrólise enzimática e contaminação bacteriana. As enzimas envolvidas nesse processo são as lipases (fosfolipases e glicolipídioidrolases) – pH 7 e 37 °C são condições ideais para as lipases, elas são próprias do alimento ou de origem bacteriana. O processo hidrolítico pode provocar uma profunda modificação da fração lipídica, propiciando alterações sensoriais às vezes muito evidentes (Piñol e Boronat, 1989). A rancidez pode ocorrer de forma não enzimática, como nos processos de fritura, nos quais a hidrólise se dá a altas temperaturas, produzindo ácidos graxos livres (Moretto e Felt, 1998).

#### 2.3.1.2 Rancidez oxidativa

Também chamada de auto-oxidação é do ponto de vista da qualidade a reação mais importante em óleos e gorduras. A reação de oxidação produz peróxidos e hidroperóxidos (produtos primários organolepticamente inertes). Estes compostos por uma série de reações paralelas produzem os compostos voláteis, aldeídos e cetonas que dão o odor de ranço ao alimento (produtos

secundários). As rotas de formação de peróxidos, hidroperóxidos e carbonilas (aldeídos e cetonas) podem ocorrer por radicais livres, fotoxidação e por ação de enzimas (lipoxigenases) (Moretto e Felt, 1998) (Figura 06).

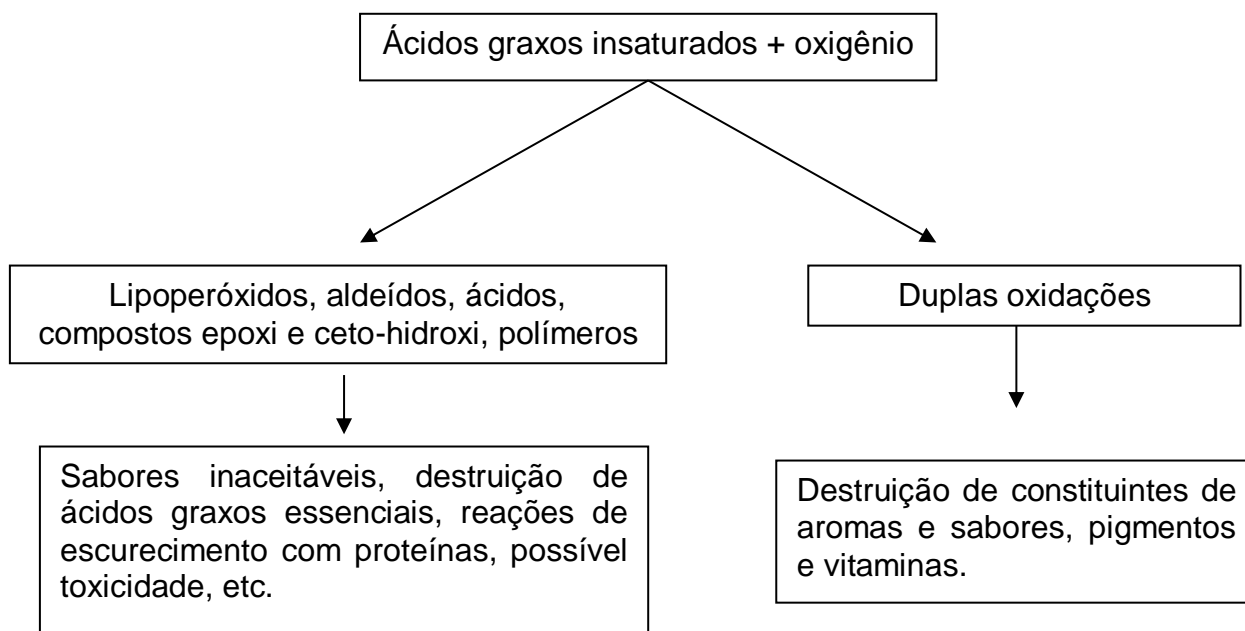


**Figura 06.** Algumas rotas de decomposição de hidroperóxidos. Fonte: Moretto e Felt (1998).

A auto-oxidação de lipídios é bastante complexa e envolve um grande número de reações de intermediárias interligadas. A taxa de auto-oxidação varia consideravelmente e é afetada pela composição em ácidos graxos, grau de insaturação, presença e atividade de pro e antioxidantes, pressão parcial de oxigênio, natureza da superfície exposta ao oxigênio e condições de estocagem (temperatura, exposição à luz, teor de umidade, etc) dos alimentos com óleo ou gordura em sua composição (Belitz e Grosch, 1992).

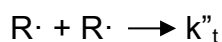
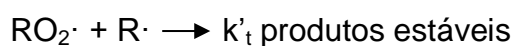
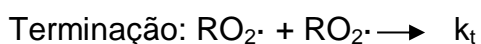
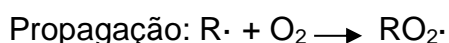


A auto-oxidação se dá entre o oxigênio atmosférico e um composto orgânico, geralmente um composto insaturado, à temperatura ambiente (Figura 07).



**Figura 07** - Efeitos da oxidação de lipídios. Fonte: Adaptado de Moretto e Felt (1998).

A auto-oxidação pode ser dividida em três etapas: iniciação, propagação e terminação (Gray, 1978).



Para evitar ou reduzir a auto-oxidação de óleos e gorduras, os fatores que a promovem devem ser parcialmente eliminados. Os níveis de energia temperatura e luz devem ser mantidos baixos porque são os principais responsáveis pelo processo de desencadeamento da formação de radicais livres. Também se deve evitar a presença de traços metálicos e minimizar ao máximo o contato do oxigênio com os lipídeos (Ramalho e Jorge, 2005).

#### 2.4 *Acromomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex. Mart

A família Arecaceae, anteriormente denominada Palmae, é constituída por um grupo de espécies genericamente conhecidas como palmeiras. A palavra palma é de origem remota. Os povos itálicos aplicavam-na à tamareira (*Phoenix dactilifera* L.) da África Mediterrânea e do Oriente Médio. Os gregos chamavam-na *fóinix*, palavra de origem fenícia (Lorenzi *et al.*, 1996).

Segundo Glassman (1972), o Brasil conta com cerca de 500 espécies nativas de palmeiras. Na região do Brasil Central e áreas adjacentes, são encontrados cerca de 11 gêneros e 44 espécies, sendo que *Trithrinax* é endêmico, *Syagrus* e *Butia* têm ampla distribuição assim como os gêneros de *Attalea*, *Allagoptera* e *Acrocomia* que são comuns na região (Henderson *et al.*, 1995).

*Acrocomia aculeata* foi primeiramente descrita por Jacquin (1763), tendo como basinômio *Cocos aculeatus* Jacq. Em 1824 foi inserida por Martius no gênero *Acrocomia*, sendo designanda como *Acrocomia sclerocarpa*. Posteriormente, em 1845, Loddiges coloca ambos em sinonímia, designando-a como *Acrocomia aculeata*.

O gênero *Acrocomia* é composto por duas espécies - *aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. e *A. hassleri* (B. Rodr.) W. J. Hahn - que diferem basicamente no tamanho dos indivíduos. A espécie *A. aculeata* (Figura 08) é a de maior porte variando de 10 – 15 m, revestida por acúleos finos nas reminiscências das bainhas e apresenta estipe coberto pelas bases dos pecíolos (Henderson *et al.*, 1995).



**Figura 08.** Vista geral da macaúba. Miranda/MS, 2012. Fonte: Acervo Pessoal.

A segunda espécie apresenta caule diminuto, 30-50 cm de altura. A *Acrocomia aculeata* é amplamente distribuída nas regiões tropicais da América e a *Acrocomia hassleri* é restrita à região de cerrado no Brasil e Paraguai (Henderson *et al.*, 1995).

O termo *Acrocomia* deriva do grego “Akron” (uma) e “Kome” (cabeleira) sugerindo que as folhas estão dispostas no formato de uma coroa (Novaes, 1952; Henderson *et al.*, 1995).

De acordo com Henderson *et al.* (1995), a espécie *A. aculeata* apresenta as seguintes sinonímias: *Acrocomia antiguana* L. H. Bailey; *Acrocomia antioquiensis* Posada-Arango; *Acrocomia belizensis* L. H. Bailey; *Acrocomia christopherensis* L. H. Bailey; *Acrocomia chunta* Covas e Ragonese; *Acrocomia erisacantha* Barb. Rodr.; *Acrocomia fusiformis* Sweet; *Acrocomia glaucophylla* Drude; *Acrocomia grenadana* L.H. Bailey; *Acrocomia hospes* L.H. Bailey; *Acrocomia ierensis* L.H. Bailey; *Acrocomia intumescens* Drude; *Acrocomia karukerana* L.H. Bailey; *Acrocomia lasiospatha* Mart.; *Acrocomia media* O.F. Cook; *Acrocomia mexicana* Karw. ex Mart.; *Acrocomia microcarpa* Barb. Rodr.; *Acrocomia mokayayba* Barb. Rodr.; *Acrocomia odorata* Barb. Rodr.; *Acrocomia*

*panamensis* L.H. Bailey; *Acrocomia pilosa* León; *Acrocomia quisqueyana* L.H. Bailey; *Acrocomia sclerocarpa* Mart.; *Acrocomia sclerocarpa* var. *wallaceana* Drude; *Acrocomia spinosa* (Mill.) H.E. Moore; *Acrocomia subinermis* León ex L.H. Bailey; *Acrocomia totai* Mart.; *Acrocomia ulei* Dammer; *Acrocomia viegasii* L.H. Bailey; *Acrocomia vinifera* Oerst.; *Acrocomia wallaceana* (Drude) Becc.; *Bactris globosa* Gaertn.; *Cocos aculeatus* Jacq.; *Cocos fusiformis* Sw.; *Palma spinosa* Mill.

Em termos taxonômicos, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., é classificada em:

Reino: Plantae

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Liliopsida

Subclasse: Arecidae

Ordem: Arecales

Família: Arecaceae

Subfamília: Arecoideae

Tribo: Cocoeae

Subtribo: Bactridinae

Gênero: *Acrocomia*

Espécie: *Acrocomia aculeata* (Grin, 2006).

Esta palmeira é citada como a única espécie de porte arbóreo de áreas de pastagens (Scariot *et al.*, 1991) ocorrendo principalmente em florestas latifoliadas semidecíduas (Lorenzi e Matos, 2002). São conflitantes as informações sobre as necessidades edáficas. Ratter *et al.* (1996) cita a espécie como indicadora de solos mesotróficos do Brasil Central. Motta *et al.* (2002) concluem que a ocorrência de macaúba acompanha áreas de solos com maior fertilidade natural e vegetação primitiva de fisionomia florestal, mostrando que a espécie avança como pioneira, evitando extremos de deficiência de nutrientes e de água.

#### 2.4.1 Sinonímia popular

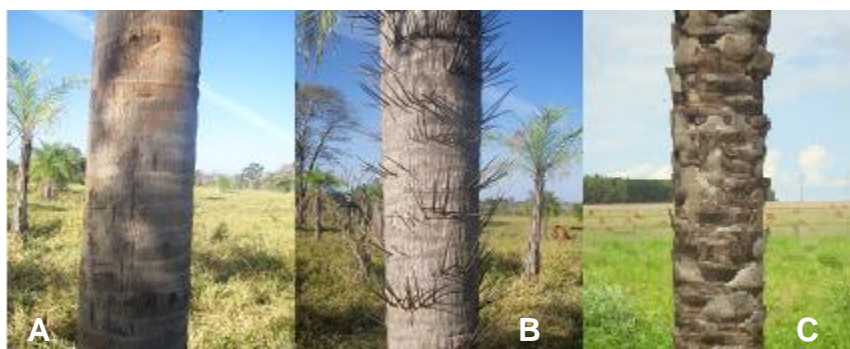
Esta espécie apresenta uma vasta sinonímia popular no Brasil: macaúba, mucajá, mocujá, mocajá, macaíba, macaiúva, bacaiúva, bocaiúva, umbocaiúva, imbocaiá, coco-de-catarro ou coco-de-espinho (Lorenzi, 1996).

O nome pode variar de acordo com a região de distribuição da palmeira: coco baboso, coco de catarro, coquito, macaúba, bocaiúva, mocayá (Argentina), corozo (Colômbia, Venezuela), coyol (América Central), catey, totaí (Bolívia), cayara, cayiete, ocori, tamaco (Colômbia); corosse (Haiti); groo groo, grugru palm, macaw palm, macaya oil (inglês); corosse (francês) e bocaiuva, cachinobí, catey, cayara, cayiete, coco baboso, coco de catarro, coquito, corozo, coyol, gru gru, macaúba, mocayá, ocori, palma de vino, tamaco, totaí (espanhol) (Fruits From America, 2005; New World Fruits, 2006).

Na Argentina, essa palmeira é popularmente chamada de Mbocayá, que deriva das palavras indígenas, “mboka”, que quer dizer, “que se quebra estalando”, e “ya” ou “já” (fruto), indicando árvore de frutos que estalam (Novaes, 1952; Henderson *et al.*, 1995).

#### 2.4.2 Morfologia e fenologia

Palmeira robusta, com porte de 10 a 15 m de altura, porém, existem relatos de plantas com alturas superiores a 20 m. O estipe ereto (caule), cilíndrico, elegante e esguio varia de 25 a 50 cm diâmetro, possui cor acinzentada. A região caulinar é revestida ou não por acúleos (acúleos) finos nas reminiscências das bainhas (Figura 09), estes são de coloração escura, pontiagudos de até 10 cm de comprimento e flexíveis, cuja quantidade é variável (Henderson *et al.*, 1995; CETEC, 1983). Uma observação empírica, é que plantas “velhas” são ausentes de acúleos na região caulinar e plantas jovens, com presença de acúleos na região de acúleos.



**Figura 09.** Estipe da macaúba sem acúleos (A), com poucos acúleos (B) e coberto por “escamas” (C) de acúleos. Itaum/MS, 2010. Fonte: Acervo Pessoal

As folhas (Figura 10 b) são verde-escura, com 3 a 5 m de comprimento, pinadas, aculeada e com folíolos lanceolados. Cada planta apresenta de 20 a 30 folhas, distribuídas em diferentes planos dando um aspecto plumoso à copa (Figura 10 a). Por folha existem aproximadamente 130 folíolos de cada lado e acúleos na região central (Nucci, 2007).



**Figura 10.** Vista geral da copa da macaúba (A). Campo Grande/MS, 2012; Folha da Macaúba (B). Itaum/MS, 2010. Fonte: Acervo pessoal

Entre as folhas destacam-se a espata (Figura 11), que pode chegar até 2 m de comprimento. Ela é formada na parte superior do estipe, inicialmente aponta-se para cima, no decorrer de seu desenvolvimento se inclina para baixo. Possui característica lenhosa e aculeada, tem forma de um cartucho, com a ponta fina, quando fechado. No início de sua formação permanece fechado, após abre para a exposição da inflorescência (Nucci, 2007).



**Figura 11.** Espata da macaúba. Campo Grande/MS, 2012. Fonte: Acervo Pessoal.

As inflorescências são localizadas entre as folhas, com coloração amarela, com 50 a 80 cm de comprimento, pendente, protegida por espata (Figura 12) de acúleos castanhos. As flores de coloração amarela são pequenas, unissexuais e andróginas. As flores femininas nascem na base da inflorescência e as masculinas no topo. Quando a inflorescência atinge a maturação a espata torna-se turgida ficando perpendicular ao estipe (Costa, 2009; Nucci, 2007).

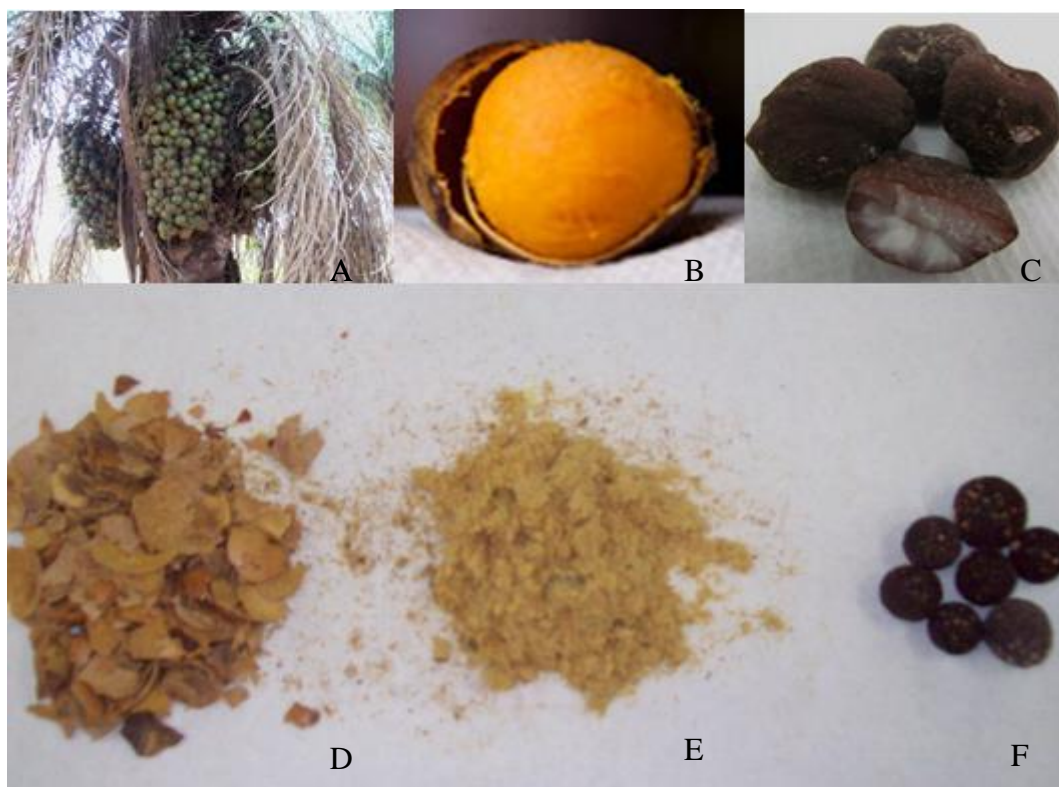


**Figura 12.** Inflorescência da macaúba. Campo Grande/MS, 2012. Fonte: Acervo Pessoal.

A polinização ocorre principalmente por besouros e pela ação do vento. Os principais polinizadores são *Andranthobius* sp. (Curculionidae), *Mystrops* cf mexicana (Nitidulidae) e *Cyclocephala forsteri* (Scarabaeidae). As inflorescências da macaúba servem como sítios de alimentação, proteção, acasalamento e reprodução para essas espécies de coleópteros (Scariot *et al.*, 1991). A inflorescência também é visitada pelas abelhas do grupo *Trigonia*, que coletam o pólen das flores masculinas e polinizam as flores femininas (Henderson *et al.*, 1995; Scariot *et al.*, 1991).

Após a maturação completa da inflorescência, inicia a formação dos frutos, sendo estes esféricos ou ligeiramente achatados, em forma de drupa globosa com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm, sendo dispostos em cachos. O

epicarpo (casca) é fortemente aderido ao mesocarpo quando imaturo “verde” e rompe-se facilmente quando maduro. O mesocarpo (polpa) é fibroso, mucilaginoso, de sabor adocicado, rico em glicerídeos, de coloração amarelo ou esbranquiçado e comestível. O endocarpo é fortemente aderido à polpa, com parede de consistência rígida, com aproximadamente 3 mm de espessura e de coloração negra. No interior do endocarpo encontra-se a amêndoa extremamente oleaginoso, comestível e revestida de uma fina camada de tegumento. Cada fruto contém, geralmente, uma semente, podendo variar de planta para planta. Os frutos são formados por cerca de 20% de casca, 40% de polpa, 33% de endocarpo e 7% de amêndoa (Figura 15) (Gray, 2005; Henderson *et al.*, 1995;).



**Figura 13.** Cachos (A); Fruto fresco (B); Amêndoa (C); Casca desidratada (D); Polpa desidratada (E); Coquinho (Endocarpo + Amêndoa) de macaúba. Campo Grande/MS, 2010. Fonte: Acervo Pessoal

A frutificação ocorre durante todo o ano e os frutos amadurecem, principalmente, entre os meses de setembro a janeiro (Lorenzi, 2006; Cetec, 1983; Nucci, (2007). Porém, em nosso grupo de estudo foi observado à



extensão do período de maturação até o mês de março no município de Campo Grande/MS.

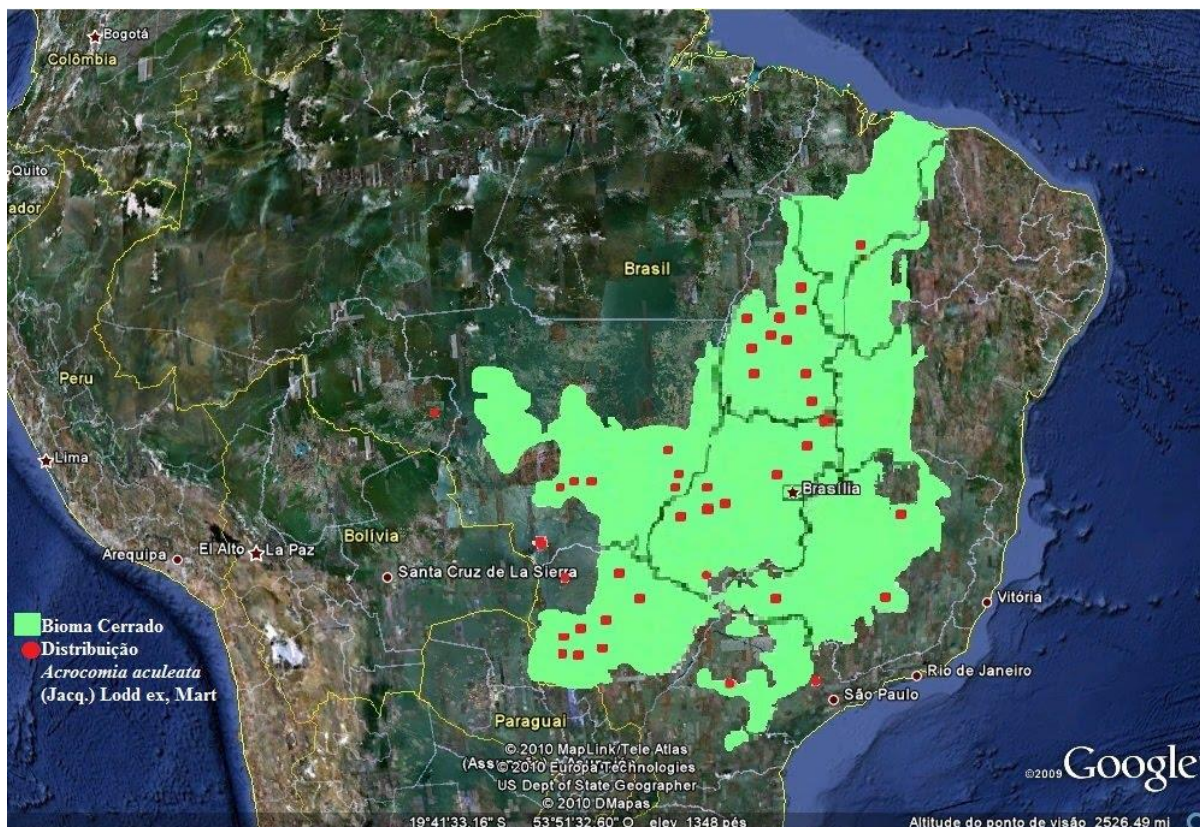
Esta palmeira tem forte interação com a fauna silvestre, seus frutos integram a dieta de araras, capivaras, antas, emas entre outros animais, os quais são os dispersores das sementes (Pott e Pott, 1994) e também por animais domésticos como gado, que contribuem para sua dispersão (Teles 2009).

#### 2.4.3 Distribuição geográfica

A macaúba possui ampla distribuição geográfica, podendo ocorrer em todo o Trópico Americano, do México à Argentina, na Bolívia, no Paraguai e Antilhas, exceto Equador e Peru. Há registros de sua ocorrência nos Andes colombianos. Preferencialmente, habita regiões com estação chuvosa bem definida e de altitudes moderadas (Henderson *et al.*, 1995).

Sua área de distribuição tem sido fortemente influenciada pelas atividades humanas. Na Costa Rica, foi introduzida pelos índios na época pré-colombiana, no México e América Central pelos Maias (Arboles, 2005; Missouri, 2005; Henderson *et al.*, 1995).

No Brasil, é considerada como a palmeira de maior dispersão, com ocorrência de povoamentos naturais da espécie em quase todo território. Entretanto, as maiores concentrações estão localizadas em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo amplamente espalhada pelas áreas de Cerrado (Figura 14) (Henderson *et al.*, 1995). No passado, ela ocorria em abundância também em São Paulo, mas as populações naturais foram sistematicamente substituídas pelo cultivo do café (Novaes, 1952).



**Figura 14.** Distribuição espacial da espécie *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loddiges ex Mart. Adaptado de Ratter et al. (2003). Fonte: Rúbio Neto, 2010.

Esta palmeira habita em áreas abertas e com alta incidência solar. Planta pioneira e tolerante ao fogo, podendo ocorrer muitas vezes associadas às encostas rochosas (Lorenzi, 1996; Gray, 2005; Missouri, 2005).

#### 2.2.4 Potencialidade e utilização

No município de Campo Grande/MS seu potencial de rendimento é de 1470 kg de óleo ha<sup>-1</sup>, passando do nível atual que é de 500 a 700 kg de óleo ha<sup>-1</sup> obtido com as culturas tradicionais, em que se tem domínio tecnológico, como soja, girassol e mamona (Bhering, 2010; Ciconini *et al.*, 2013). Quando comparada a outras oleaginosas esta palmeira apresenta elevada produtividade e alto rendimento de óleo (Quadro 06) (Roscoe *et al.*, 2007).

**Quadro 06.** Características de produção de oleaginosas.

Oleaginosa	Produtividade Média (t ha <sup>-1</sup> )	Teor de Óleo (%)	Produtividade de Óleo (t ha <sup>-1</sup> )
Algodão Herbáceo	2,7 – 3,3	15	0,2 – 0,3
Soja	1,8 – 3,3	18	0,3 – 0,6
Girassol	1,2 – 2,0	38 – 48	0,5 – 1,9
Mamona	1,0 – 1,5	45 – 48	0,5 – 0,7
Amendoim	2,5 – 2,9	40 – 43	1,0 – 1,2
Canola	1,0 – 1,5	38	0,4 – 0,6
Nabo	0,3 – 1,0	35 – 40	0,1 – 0,4
Pinhão manso	2,0 – 5,0	35 – 40	0,7 – 2,0
Macaúba (polpa)	10 – 15	20 – 30	2,0 – 4,5

Fonte: Adaptado de Roscoe *et al* (2007).

O dendezeiro (*Elaeis guineensis*), denominado atualmente no Brasil como palma de óleo, é a principal fonte de óleo extraído no mundo. Tem produção de óleo anual de 5 – 8 ton ha<sup>-1</sup>, sendo que existe uma cadeia agroindustrial forte e em pleno desenvolvimento no Brasil (Bastos, 2000; Teixeira, 2005; Lofrano, 2008).

Porém, há limitações para a disseminação do dendezeiro no território brasileiro, devido as suas necessidades climáticas e bióticas. Os aspectos mais importantes para a produção da cultura são os seguintes: pluviometria anual maior que 1.500 mm, com distribuição mensal e ausência de seca. As variações pluviométricas afetam na sexualização das flores, consequentemente, na produção de cachos. A ocorrência de déficit hídrico estimula a formação de inflorescências masculinas e redução de produção de cachos. A variação de chuva, afeta a emissão foliar, o número e peso médio dos cachos. O limite mínimo de chuva mensal satisfatório para a produção da cultura está dentro de 120 mm e 150 mm, e quanto menor for o déficit hídrico, maior será a produção anual de cachos (Moraes e Bastos, 1972). Em função das exigências climáticas desta espécie, ela prevalece restrita às áreas de produção na Amazônia equatorial e sudeste da Bahia (Bastos, 2000; Teixeira, 2005; Lofrano, 2008).

No caso da macaúba, existe a possibilidade de estabelecer cultivos em outras regiões do País, inclusive as regiões mais pobres de Minas Gerais, como Norte e Zona da Mata, devido à sua adaptação a períodos secos definidos. Além disso, o óleo de macaúba poderá apresentar alto valor de mercado em função da multiplicidade de uso industrial (Teixeira, 2005).

A macaúba é uma planta de grande importância do ponto de vista ecológico, pois, contribui com o ecossistema, servindo de alimentação à vida silvestre, possui grande produção de frutos com alto teor de óleo na polpa e amêndoa (Lorenzi et al., 1996).

Outro aspecto relevante para a utilização da macaúba na produção de biocombustíveis deve-se ao fato de seu fruto gerar co-produtos muito valorizados. As tortas produzidas a partir do processamento da polpa podem ser aproveitadas na nutrição animal e/ou como adubo (Collares *et al.*, 2009). Outro importante subproduto é o endocarpo, que pode ser utilizado como carvão por apresentar elevado poder calorífico (Boas *et al.*, 2010).

Há perspectivas reais de utilização da macaúba como matéria-prima para produção de biodiesel e para indústrias alimentícias e outros setores considerando a diversidade de produtos e coprodutos que pode gerar (Quadro 07).

O óleo de soja utilizado na culinária e biocombustível pode ser perfeitamente substituído pelo óleo de macaúba e os resíduos gerados podem ser usados na produção de ração para suínos, aves e caprinos. Este óleo ainda pode ser usado como lubrificante para máquinas, combustível, em substituição ao óleo diesel, como carvão, piche, entre outros, reforçando que a palmeira apresenta grande potencial para produção de óleo com vasta aplicação nos setores industriais e energéticos (Panorama Brasil, 2006).

**Quadro 07.** Usos associados a distintas partes de *Acrocomia aculeata*.

Partes utilizadas	Utilização	Finalidade
Plântulas (parte aérea)	Medicinal	Diurético, hipotensor
Raízes	Medicinal	Diurético
Estipe	Estipe	Parede, caibre, ripas, calhas para água, mourão, estacas
Estipe (medula)	Alimento	Fécula nutritiva
Estipe (meristema apical)	Alimento	Palmito
Estipe (seiva)	Alimento	Vinho
Estie (seiva)	Medicinal	Febrífuga
Folha	Forragem	Bovino, equino, ração animal
Folha	Fibra	Chapéu, balaio, linha de pescas, redes
Folha	Outro	Coberturas de casa
Fruto (mesocarpo)	Medicinal	Fortificante
Fruto (mesocarpo)	Alimento	Fruta, goma de mascar, doces, paçocas, geleias e cocadas
Fruto (óleo do mesocarpo)	Alimento	Licor, sorvete
Fruto (óleo do mesocarpo)	Medicinal	Analgésico (dor de cabeça e nevralgias)
Fruto (óleo do mesocarpo)	Cosmético	Hidratante capilar
Semente	Outro	Substitui a brita no concreto
Semente	Artesanato	Confecção de botões
Semente (amêndoa)	Alimento	Coco, paçoca
Semente (óleo)	Alimento	Óleo de cozinha
Semente (óleo)	Combustível	Lamparina, produção de energia
Semente (óleo)	Cosmético	Hidratante capilar
Semente (óleo)	Medicinal	Laxante
Semente (óleo)	Outro	Ingrediente de sabão

Fonte: Adaptado de Lorenzi (2006).

#### 2.4.5 Lipogênese

Pouco se sabe sobre a síntese de acúmulo de óleo na macaúba, processo denominado de lipogênese. Na prática, os frutos são coletados após a abscisão, ocasionando contaminação da polpa sob ação da flora microbiana e/ou enzimas (lipases), favorecidas pelas condições ambientais, promovendo o aumento da acidez do óleo, comprometendo assim, a sua qualidade e inviabilizando a sua utilização em vários setores (Silva *et al.*, 2008). A determinação do ponto de maior acúmulo de óleo poderá definir o momento mais adequado para a colheita do cacho.

A maturação desuniforme promove a abscisão desuniforme, processo este natural, fisiológico e bioquímico por meio do qual vários órgãos (flores, flores e frutos) se desprendem da planta e caem (Chitarra e Chitarra, 2005). A desuniformidade torna-se difícil o processo de colheita e compromete a qualidade do fruto. Este fenômeno em macaúba pode afetar principalmente a

polpa, que representa de 30 a 40% do fruto. Pois, sua composição depende do grau de maturação do fruto. Quando verde, é muito rica em umidade, pobre em ácidos graxos, e suas fibras são fortemente aderidas aos outros tecidos, além de ser de manipulação praticamente inexecutável. Maduro, a polpa é amarela, adocicada, aromatizada e riquíssima em lipídeos (Silva, 2008).

A maturidade fisiológica, dependendo da espécie, é embasada no número de dias após a antese. Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.), pinheirinho (*Podocarpus lambertii*), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), piaçaveira (*Attalea funifera* Mart.), quaresmeira (*Tibouchina granulosa* Cogn.) e milho-doce BR 400 (grupo super-doce) levam, respectivamente, de 105 a 110 dias, 203 dias, 131 dias, de 203 a 217 dias, e 270 dias após a antese para atingir a maturidade fisiológica (Ndon e Remison, 1983; Barbosa *et al.*, 1992; Ragagnin, *et al.*, 1994; Corvello, 1999; Melo, 2001; Lopes *et al.*, 2005)

O número de dias após a antese pode ser utilizado com maior eficiência na identificação do ponto de colheita quando associado a informações sobre cor das sementes e/ou frutos ou, ainda, conciliado com o teor de água das sementes e/ou frutos, como é utilizado na colheita manual do girassol, que deve ser realizada aos 42 dias após a antese e quando a umidade das sementes situar-se entre 15% e 18% (Vieira, 2005; Souza e Lima, 1985; Aguiar *et al.*, 1986; Aguiar *et al.*, 1988; Lopes *et al.*, 2005)

Durante a maturidade dos frutos, ocorrem mudanças no desenvolvimento do embrião principalmente no conteúdo de água, tamanho, massa da matéria seca, germinação, vigor, teor de óleo, composição em ácidos graxos, proteína e outros componentes da semente (Carvalho e Nakagawa, 2000; Bittencourt *et al.*, 1990). Isso faz com que haja a necessidade de se buscar um indicador preciso do ponto ideal da maturação fisiológica.

Estudos vêm sendo realizados para uniformizar a maturação dos frutos no cacho de macaúba, de forma a garantir uma máxima quantidade de óleo de boa qualidade. Na cultura do palma, o processo de colheita foi estabelecido com base em estudos de lipogênese que permitiram definir a época mais adequada para retirada do cacho inteiro conciliando rendimento e qualidade de óleo.

O desenvolvimento dos frutos do dendzeiro começa cerca de 2 Semanas Após a Antese (SAA). Na 8ª SAA, o endosperma ainda é líquido e torna-se semi-gelatinoso na 10ª (SAA). O acúmulo de óleo no endosperma inicia-se na 12ª SAA e sua maturação está quase completa na 16ª SAA. O acúmulo de óleo no mesocarpo inicia-se na 15ª SAA e continua até a 20ª SAA, em que a maturação está completa. Os cachos colhidos e os frutos destacados são transportados para a usina no máximo até 24 horas após a colheita, a fim de garantir a boa qualidade do óleo. Com a etapa ideal para colheita poderá ser delineados processos de pós-colheita que minimizem problemas na perda de qualidade do óleo de macaúba, pois a falta de informações na literatura sobre a atividade da lipase em frutos dessa espécie demonstra a necessidade de um estudo específico voltado ao processamento e o período de pós-colheita desta oleaginosa. Essas informações poderão ser utilizadas para a produção do óleo da macaúba com fins mais nobres deixando de limitar o uso apenas em indústrias de sabão (Hartley, 1977)

A etapa de pós-colheita do fruto é ainda muito pouco estudada e a extração do óleo, é feita aplicando-se tecnologias adaptadas de outras oleaginosas. Assim como ocorre com a palma os frutos devem ser processados imediatamente após a colheita, pois são degradados rapidamente por enzimas (lipases) e microrganismos, acarretando o aumento dos ácidos graxos, prejudicando o processo industrial. Estes fatores contribuem para a baixa qualidade do óleo comercializado no cerrado brasileiro (Silva, 2009).

Na palma a enzima lipase está presente no mesocarpo do fruto, sendo a primeira enzima envolvida na degradação de triglicerídeos armazenados. Isso gera uma quantidade elevada de ácidos graxos livres, conseqüentemente o aumento da acidez do fruto desencadeando o processo de degradação de óleos que o torna impróprio para consumo humano e para a produção de biodiesel. A peroxidase catalisa a degradação peroxidativa dos ácidos graxos insaturados, com a formação de compostos de degradação que depreciam sua qualidade e valor de mercado. Estes diferentes comportamentos nas reações enzimáticas são de utilidade para a indústria de alimentos, pois através deles se encontram as melhores soluções para o processamento (Kwak *et.al.*, 1996).

Portanto, a macaúba necessita de processos de domesticação, como pré-melhoramento (atividades de exploração, coleta, implantação de banco de

germoplasma e caracterização e conhecimento da diversidade da espécie para a introdução de genótipos promissores na etapa posterior de melhoramento), melhoramento, desenvolvimento de tecnologias de produção de sementes, mudas, plantio e manejo da cultura (colheita e pós-colheita) (Manfio, 2010).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral

Investigar o desenvolvimento e maturação dos frutos de macaúba e definir sistema adequado de colheita.

#### 3.2 Objetivos Específicos (Capítulo 2)

- Avaliar a biometria dos frutos, caracterizar a polpa e avaliar o óleo em função do tempo de permanência no campo em coletores idealizados num sistema inovador de colheita;
- Investigar quanto tempo os frutos podem permanecer no campo em coletores idealizados num sistema inovador de colheita.

#### 3.3 Objetivos Específicos (Capítulo 3)

- Avaliar a massa e diâmetro dos frutos empregados nos ensaios;
- Caracterizar a polpa quanto a umidade e teor de lipídeos dos frutos de cada porção do cacho;
- Avaliar características da fração lipídica na polpa dos frutos de cada porção do cacho;
- Investigar a composição de carotenóides e perfil de ácidos graxos na fração lipídica da polpa dos frutos de cada porção do cacho.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, I. B.; Barciela, F. J. P. Maturação de sementes de cabreúva. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 8, n. 3, p. 63-71, 1986.
- Aguiar, I. B.; Perecin, D.; Kageyama, P. Y. Maturação fisiológica de sementes *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *IPEF*, Piracicaba, v. 37, p. 5-11, 1988.
- Amaral, D. F. Panorama do mercado de oleaginosas: Aproveitamento para produção de óleos e derivados. In: IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. João Pessoa – PB, 2010.
- Andrade, C. T. S.; Marques, J. G. M.; Zappi, D. C. Uso de Cactáceas no Sertão baiano: tipos conexivos para definir categorias utilitárias. *Sitientibus Série Ciências Biológicas*, v. 6, p. 3-12, 2006.
- ANP. Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2011a.
- APROBIO. Nova lei do biodiesel deve ficar pronta no início de 2012. Disponível em: <http://www.bsbios.com/?menu=noticias&id=262>. Acesso em: 12/12/2011.
- Arboles del area del canal de Panamá *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. Disponível em: <http://www.ctfs.si.edu/webatlas/spanish/acropa.htm>. Acesso em: 18 jul. 2005.
- Barbosa, J.M.; Santos, S.R.G.; Barbosa, L.M; silva, T.S.; Pisciotto, W.A.; Asperti, L.M. Desenvolvimento floral e maturação de sementes de *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal, v.17, n.1, p.5-11, 1992.
- Basiron, Y. Palm Oil. In: F. Shahidi. *Bailey's Industrial oil and fat products*. New York: Wiley-Interscience, pp. 333-429 (6 edição), 2005.
- Bastos, T. X. Aspectos Agroclimáticos do Dendzeiro na Amazônia Oriental. In: VIÉGAS, I. de J. M. & MULLER, A. A. (Eds). *A cultura do Dendzeiro na Amazônia Brasileira*. Belém: EMBRAPA Amazônia Ocidental, p. 47-60, 2000.
- Belitz, H., e Grosch, W. (1992). *Química de los alimentos*. (2 ed.). Zaragoza: Acribia, S.A.
- Bhering, L.: O potencial da macaúba como oleífera para biocombustíveis. *Biodiesel*, ano 3, n. 18, p. 60-61, 2010.
- Bittencourt, J.F.N.; Sader, R.; Ungaro, M.R.G.; Toledo, N.M.P. Maturação fisiológica de sementes de girassol cv. Contisol. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 13, n. 2, p. 81-85, 1991

Boas, M. A. V., Carneiro, A. C. O., Vital, B. R., Carvalho, A. M. M. L., e Martins, M. A. (2010). Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. *Sciense forum*, 38, 481-490.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel – inclusão social e desenvolvimento territorial. Brasília: MDA, 2011b.

Brasil. Governo estuda aumentar percentual de biodiesel no óleo diesel mineral em 2012. Portal Brasil. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/noticias/arquivos/2011/02/16/governo-estuda-aumentar-percentual-de-biodiesel-no-oleo-diesel-mineral-em-2012>> Acesso em 04 de agosto de 2012.

Carvalho, N.M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: FUNEP. 588p, 2000

Cetec – Centro Tecnológico de Minas Gerais. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 1983.

Chape, P. C., Harvey, R. A., e Bolner, A. R. *Bioquímica Ilustrada*. (2 ed.). Porto Alegre: Artmed, 2002.

Chaves e Mello-Farias. Bioquímica Básica em imagens – um guia para a sala de aula. Lipídeos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - RS. Disponível em:

[http://www.ufpel.edu.br/iqg/db/Apresenta%E7%F5es\\_PPT/03%20Lip%EDdios%20PDF.pdf](http://www.ufpel.edu.br/iqg/db/Apresenta%E7%F5es_PPT/03%20Lip%EDdios%20PDF.pdf). Acesso em: 13 de setembro de 2008.

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

Ciconini, G. Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Aplicada a Saúde). 150p. Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande – MS, 2012.

Ciconini, C., Favaro, S. P., Souza, C. F. T., Miyahira, M. A. M., Corrêa, A., Plein, G. S., Souza, J. L. C., e SANTOS, G. P. Óleo da polpa de macaúba: variabilidade das características físico – químicas em plantas do Mato Grosso do Sul. In: *IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas*. João Pessoa – PB, 2010.

Ciconini, G; Favaro, S. P.; Roscoe, R.; Miranda, C. h. b.; Tapeti, C. F.; Miyahira, M. A. M.; Bearari, L.; Galvani, F.; Borsato, A. V.; Conalço, L. A.; Naka, M.H. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45: 208– 214, 2013.

Collares, D.G., Ferreira, L., e Cabral, J. M. Macaúba desperta atenção pelo uso como biodiesel. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_4/macauaba/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/macauaba/index.htm)> Acesso em: 30 de agosto de 2009.

Corvello, W.B.V.; Villela, F.A.; Nedel, J.L.; Peske, S.T. Maturação fisiológica de sementes de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.). Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.21, n.2, p.23-27, 1999.

Costa, C. F. *Solos e outros fatores ambientais associados à diversidade fenotípica de macaubais no estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). 54p. Instituto Agronômico, Campinas – SP, 2009.

Fapri. Food and agricultural policy research institute (2009). Disponível em: <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2009>. Acesso: 25 setembro 2012.

Faria, O. P.; Pereira, V. A.; Gangoni, C. M. C.; Lins, R. D.; Leite, S.; Rassi, V.; Arruda, S. L. M. Obesos mórbidos tratados com gastroplastia redutora com bypass gástrico em y de roux: análise de 160 pacientes. Brasília Médica, Brasília, v. 39, n. 1/4, p. 26-34, 2002.

Fennema, O. R. *Química de los alimentos*. (2 ed.). Zaragoza: Acribia, 2000.

Ferrari, R.A.; Oliveira, V.S.; Scabio, A. Óleo neutro de soja usado em fritura como matéria – prima para produção de biodiesel. In: ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, VIII, 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: PUC, p. 434-438, 2003.

Firestone, D. Olive Oil. In: F. Shahidi (6ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 303-331). New York: Wiley-Interscience, 2005.

Fruits From America - An ethnobotanical inventory, [http://www.ciat.cgiar.org/ipgri/fruits\\_from\\_americas/frutales/Ficha%20Acrocomia%20aculeata.htm](http://www.ciat.cgiar.org/ipgri/fruits_from_americas/frutales/Ficha%20Acrocomia%20aculeata.htm), Acesso em 17 março 2005.

Giese, J. Fats, Oils, and Fat Replacers. Food Technology - Especial Repot, 1996.

Glassman, S.F. A revision of B.E. Dahlgren's index of American palms. Lehre: J. Cramer, 1972.

Gray, J. I. Measurement of lipid oxidation: a review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 55, 538-546, 1978.

Gray, M. Palm and Cycad Societies of Australia. Disponível em: <http://www.pacsoa.org.au/palms/Acrocomia/aculeata.html> Acesso em 20 setembro 2005.

Graziola, F., Solis, V. S., e Curi, R. Estrutura e classificação dos ácidos graxos. In: R. Curi, C. Pompéia, C. K. Miysaka, e S. Procopio. Entendendo a gordura: os ácidos graxos (pp. 05-23). São Paulo: Manole, 2002.

Grin – Germplasm Resources Information Network. Disponível em: <http://www.arsgrin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?1388#uses>. Acesso em 2 outubro 2006.

Hammond, E. G., Lawrence, A. J., Su, C., Wang, T., e White, P. J. Soybean Oil. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 577-653). New York: Wiley-Interscience, 2005.

HARTLEY, C.W.S. The oil palm. 2 ed. Longman. 1977.

Henderson, A., Galeano, G., e Bernal, R. *Field Guide to the Palms of the Americas*. New Jersey: Princeton University, 1995.

Jacquin, N. J. *Selectarum stipiumamericanarum historia*. Facsimile ed.1971, Hafner Publishing, New York. Pp.200-201, 1763.

Kwak, S. S.; Kim, S. K.; Park, I. H.; Liu, J. R Enhancement of peroxidase activity by stress-related chemicals in sweet potato. *Phytochemistry*, 43:565-568, 1996.

Laviola, B. G. Biodiesel e sustentabilidade. In: *I Congresso Nacional de direito agrário*. São Paulo – SP, 2009.

Lipid Library. (2011). Lipid, chemistry, biology, technology and analysis. Disponível em: <http://lipidlibrary.aocs.org>. Acesso em 26 de maio de 2011.

Lofrano, R. Alimento e Combustível, com a floresta preservada. In: FNP Consultoria & Agroinformativos. *AGRIANUAL 2008: Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Instituto FNP, , p. 311-313, 2008.

Lopes, J. C.; Dias, P. C.; Pereira, M. D. Maturação fisiológica de sementes de quaresmeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, , v. 40, n. 8, p. 811-816, 2005.

Lorenzi, H.; Souza, H. M.; Medeiros-costa, J. T.; Cerqueira, L. S. C.; Behr, N. *Palmeiras do Brasil: exóticas e nativas*. Nova Odessa: Editora Plantarum, p. 1-20, 1996.

Lorenzi, G. M. A. C. *Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável*. Dissertação (Doutorado em Ciências). 166p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2006.

Lorenzi, H., e Matos, F. J. A. *Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

Manfio. Acrotech. *Sementes e reflorestamento* (2010). Disponível em: <http://www.acrotech.com.br/interna.php?area=aempresa> Acesso em: 27 de setembro de 2011.

Melo, J. R. V. Maturação, germinação e armazenamento de sementes de piaçaveira (*Attalea funifera* Mart.). 2001. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

Missouri Botanical Garden. *Acrocomia aculeata* Disponível em: <http://www.mobot.mobot.org/cgi-bin/search>. Acesso em: 16 out. 2005.

MME – Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Departamento de Combustíveis Renováveis. Boletim mensal de combustíveis renováveis. Edição nº 36, dezembro 2010. Disponível em: [www.mme.gov.br/spg/menu/publicações.html](http://www.mme.gov.br/spg/menu/publicações.html). Acesso em 26 de setembro de 2011.

Moraes, V.H.F., Bastos, T.X. Viabilidade e limitações climáticas para as culturas permanentes e anuais com possibilidade de expansão na Amazônia brasileira. In: Instituto de Pesquisa Agropecuário do Norte. Belém: Ipean, p.68-122. (Boletim técnico, 54), 1972.

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

Moretto, E., Fett R., Gonzaga, L.V. Introdução à Ciência de Alimentos. Florianópolis: Editora da UFSC, 255p, 2002.

Motta, V. T. Bioquímica Básica. Disponível em: <http://www.gilvan.pro.br/lipidios.pdf>. Acesso em 28 de setembro de 2011.

Motta, P.E.F.; Carvalho Filho, A.; Ker, J.C.; Pereira, N.R.; Carvalho, J. W. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:869-878, 2002

Ndon, B.A.; Remison, S.U. Development of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) fruits. I. Dry matter accumulation. *Journal of the Nigerian Institute for Oil Palm Research*, Benin City, v. 6, n. 24, p. 367-377, 1983.

Nelson, D. L., e Cox, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. (5 ed.). São Paulo: Sarvier, 2011.

New World Fruits. In: S. M. Nucci. *Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba*. Dissertação (Mestrado em agricultura tropical e subtropical). 82p. Instituto Agrônomo, São Paulo, (2006).

Novaes, R. F. (1952). Contribuição para o estudo do coco macaúba. Dissertação (Doutorado em Ciências Agrárias). 85p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP.

Nucci, S. M. (2007). Desenvolvimento, caracterização e análise da utilidade de marcadores microssatélites em genética de população de macaúba. Dissertação (Mestrado em agricultura tropical e subtropical). 82p. Instituto Agrônomo, Campinas - SP.

Nunes, S. P.. *Produção e consumo de óleos vegetais no Brasil*. Disponível em: <http://www.deser.org.br/documentos/doc/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20consumo%20de%20%C3%B3leos%20vegetais.pdf>. Acesso em 25 de setembro de 2007.

Oil World. ISTA Mieke GmbH, Langenberg 25, 21077 Hamburg, Germany, 2002.

OIL WORLD. Oil World Annual 2011. Hamburg, Germany, 2011.

Osaka, M., e Batalha, M. O. Produção de Biodiesel e Óleo Vegetal no Brasil: realidade e desafio. In: *XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Fortaleza – CE, 2008.

Panorama Brasil. Óleo de macaúba disputa mercado com o de soja. [http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra\\_conteudo.asp?conteudo=3660](http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.asp?conteudo=3660). Acesso em 15 outubro 2006.

Piñol, J. M.; Boronat, M. C. de la T. Influência de la tecnología en nutritivo de los alimentos: lípidos. *Alimentaria*, v. 204, p. 15-21, 1989.

Pott, A., e Pott, V. J. (1994). *Plantas do Pantanal*. EMBRAPA.

Przybylski, R, Mag, T., Eskin, N. A. M., e Mc Donald, B. E. (2005). Canola Oil. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 61-121). New York: Wiley-Interscience.

Ragagnin, L.I.M.; Costa, E.C.; Hoppe, J.M. Maturidade fisiológica de sementes *Podocarpus lambertii* Klotzsch. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.4, n.1, p.23-41, 1994.

Ramalho, V. C., Jorge, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química Nova*, 29, 755-760, 2005.

Ratter, J. A.; Bridgewater, S.; Atkinson, R. & Ribeiro, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. *Edinburg Journal of Botany* 53: 153-180, 1996.

Roscoe, R., Richetti, A., e Maranhão, E. Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. *Revista Política Agrícola*, 16, 48-59, 2007.

Rúbio Neto, A. *Superação da dormência em sementes de macaúba [Acrocomia aculeata (Jacq.) Loodiges ex Mart.]*. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 67p. Universidade Federal de Goiás, Jataí – GO, 2010.

Scariot, A. O., Lleras, E., e Hay, J. D. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia Aculeata* in Central Brazil. *Biotrópica*, 23, 12-22, 1991.

Schuchardt, U., Shercheli, R., e Vargas R. M. Transesterification of Vegetable Oils: a review. *Journal of Brazilian Chemical Society*, 9, 199-210, 1998.

Silva, I.C.C.; Pontes, F.S; Couri, S.; Araujo, M.M.; Freitas, S.P. Extração combinada do óleo de macaúba: tecnologia enzimática e prensagem hidráulica. In: 5º Congresso Nacional de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel. Lavras, UFLA-MG, v. 1. p. 1-10, 2008.

Silva, I. C. C. Usos de processos combinados para aumento do rendimento da extração e da qualidade do óleo de macaúba. Dissertação (Mestrado em tecnologia de processos químicos e bioquímicos). 99p. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2009.

Souza, S. M.; LIMA, P. C. F. Maturação de sementes de angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, DF, v. 7, n. 2, p. 93-99, 1985.

Teixeira, I. C. Produção de biodiesel. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 79-86, 2005.

Teles, H. F. (2009). Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Ex Mart. e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás*. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal). 137p. Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO.

USDA. Oil Crops Yearbook. Estados Unidos. Disponível em: <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1290>. Acesso em 03 de agosto de 2012.

Vieira, A.S.; Aguiar, H.F.; Chaves, J.F.N.; Neves, R.M.P.S.; Cano Andrade, M.H.C. (2005). “Estudo preliminar para o desenvolvimento de um Processo Industrial de Extração de Óleo do Fruto da Palma de Macaúba”. Relatório de Pesquisa: Laboratório de Operações e Processos, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais.

Voet, Donald; Voet, Judith G. V. Bioquímica. 3ª ed. Artmed: Porto Alegre, 2006.

**CAPITULO 2**

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista BioEnergy Research

([www.springer.com/life+sciences/plant+sciences/journal/12155](http://www.springer.com/life+sciences/plant+sciences/journal/12155))



## Sistema de colheita de frutos de macaúba

### Resumo

Este estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade do óleo e atividade enzimática na polpa de frutos de macaúba em função do tempo de permanência no campo em coletores, idealizados para um sistema inovador de colheita. Foram selecionadas nove plantas de macaúba nativas. Em cada planta foi instalado um coletor composto de sistema de captação e armazenamento dos frutos (equipamento em fase de registro de patente). Os tempos de permanência dos frutos no campo foram de 1, 6, 11, 16, 21, 26 e 31 dias. Avaliou-se a biometria dos frutos, a polpa foi avaliada quantitativamente em relação à umidade, teor de lipídeos, atividade de água, atividade específica de lipase e peroxidase. A qualidade do óleo foi monitorada quanto a acidez, absorvidade molar a 232 e 270 nm, carotenóides totais, índice de peróxido e perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa. Os resultados nos permitem concluir que os frutos de macaúba podem permanecer no campo em coletores idealizados num sistema inovador de colheita por até 10 dias após sua abscisão, com sua qualidade preservada.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., lipídeos, lipase, peroxidase, rancidez.

### 1. Introdução

*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd, pertencente à família Arecaceae, é nativa das florestas tropicas e savanas da América. Conhecida popularmente como macaúba ou bocaiúva, apresenta a maior dispersão entre as palmeiras, com ocorrência em maciços nativos em grande parte do território brasileiro, concentrando-se nos biomas Pantanal e Cerrado. Tem sido utilizada para diferentes fins, tais como as folhas para nutrição animal, o endocarpo para produção de carvão vegetal, e a polpa e amendoa dos frutos para a produção de farinhas e óleos [1,2,3].

Com a crescente demanda mundial por lipídeos, tanto para produção de biodiesel como para alimentação humana, a macaúba vem despertando grande interesse, por se adaptar a diversas condições edafoclimáticas e pela elevada potencialidade de fornecimento de óleo, podendo gerar cerca de dez vezes mais óleo do que a soja em uma mesma área [4]. No município de Campo Grande/MS estima-se rendimento em torno de 1470 kg de óleo de macaúba por hectare/ano, com espaçamento de 5 m x 2 m (1000 palmeiras/ha), podendo aumentar com adoção de medidas de plantio racional e de programas de melhoramento genético [5].

A partir dos frutos de macaúba, podem-se extrair dois tipos distintos de óleo, da polpa e amêndoa. O óleo de polpa apresenta coloração laranja intensa conferida pela presença de carotenóides e predominância dos ácidos graxos oléico (65,87%) e ácido palmítico (15,96%) [6,7]. O  $\beta$ -caroteno representa de 80 a 90% dos carotenóides totais encontrados na polpa de macaúba [1,8, 9, 10]. Da amêndoa se extrai um óleo de coloração clara com alto teor de ácido láurico e oleico [6, 7].

A polpa do fruto maduro de macaúba apresenta elevada umidade. Foram reportados valores no estado do Mato Grosso do Sul entre 49,06% na região de Campo Grande a 63,00% na região de Corumbá [5]. A disponibilidade de água e nutrientes favorecem a perecibilidade do fruto, sobretudo da casca e polpa. Reações de deterioração da qualidade do óleo também podem ocorrer por processos endógenos. A amêndoa por estar revestida pelo endocarpo coreáceo está mais protegida da rápida deterioração. [11].

Na palma a atividade de lipase aumenta os ácidos graxos livres no óleo. Esta enzima é ativada ela é ativada após a abscisão do fruto, embora seja uma enzima exógena também se manifesta quando o fruto está danificado. Deste modo, qualquer atraso no processamento da colheita dos frutos pode resultar em óleo com elevada acidez [12].

O desenvolvimento de um fluxograma de processamento de macaúba ainda se encontra em estágio inicial. Não há até o momento protocolos estabelecidas que garantam a obtenção de óleo de polpa de alta qualidade. Um dos gargalos a serem superados diz respeito ao melhor método para a colheita dos frutos, de forma pouco onerosa com baixo custo, e principalmente, visando obtenção de frutos com alta qualidade.

A colheita tem sido praticada de forma rudimentar, retirando-se os frutos já caídos no chão, favorecendo contaminação microbiana. Dessa maneira, o óleo tem sua qualidade deteriorada rapidamente, levando a perdas qualitativas e quantitativas que podem limitar o aproveitamento industrial dos produtos e coprodutos. A qualidade dos coprodutos fica comprometida pela potencial formação de micotoxinas, fragilizando a segurança alimentar dos farelos e tortas para uso na nutrição humana e animal.

A coleta dos frutos de macaúba, como vem sendo praticada, tem se mostrado inviável para a produção em larga escala de óleo de polpa com

qualidade competitiva a outras fontes oleaginosas. Esta palmeira carece de estudos básicos que dêem suporte para estabelecer um método de colheita técnico e economicamente eficaz.

Uma possibilidade seria reter os frutos que se desprendem naturalmente do cacho em um sistema coletor, de tal maneira a impedir o contato com o solo, e fazer retiradas escalonadas do campo. Com esta estratégia poderiam ser obtidos frutos completamente maduros, inteiros e não contaminados.

O período em que os frutos poderiam permanecer no coletor depende dos processos de deterioração endógenos, das condições climáticas e do balanço econômico considerando os custos na operação de retirada dos frutos do campo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do óleo e atividade enzimática na polpa de frutos de macaúba em função do tempo de permanência no campo em coletores idealizados num sistema inovador de colheita.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Matéria - prima**

Frutos de macaúba foram coletados na Fazenda Paraíso, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, distrito de Itaum, município de Dourados ("22°05'43.52"S e 55°20'53.26" O), no período de dezembro/2011 a janeiro/2012.

A alta variabilidade fenotípica existente entre as palmeiras, uma vez que são de ocorrência natural e ainda não há cultivos comerciais com materiais homogêneos em fase de produção, não possibilitou utilização de cada planta como uma repetição do experimento. Outro ponto a ser considerado é que os frutos desprendem-se continuamente do cacho, portanto no coletor são encontrados frutos com diferentes períodos de residência dentro do sistema.

Para padronizar as condições experimentais, elaborou-se uma estratégia para uniformizar os frutos. Desta forma, foram selecionadas nove plantas de macaúba nativas ao acaso, com caule liso com presença ou não de acúleos. Em cada planta foi instalado um coletor composto de sistema de captação e armazenamento dos frutos (produto em patenteamento). No intervalo de 24 h

coletaram-se os frutos retidos no recipiente de armazenamento. Foram estabelecidos os tempos de permanência no de 1, 6, 11, 16, 21, 26 e 31 dias.

Para mimetizar as condições encontradas no sistema de armazenamento, as amostras de 40 frutos foram acondicionadas em saquinhos feitos com o mesmo material do coletor (tela sombreadora) e estes foram fixados abaixo do coletor (Figura 01).



Figura 01. Frutos de macaúba dispostos em torno do caule da palmeira, abaixo do coletor, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.

Os frutos de todas as palmeiras foram homogeneizados, compondo uma única amostragem inicial e, assim, formaram-se amostras compostas por 40 frutos. Em cada uma das nove plantas foram fixados sete saquinhos, ou seja, um para cada época de coleta.

## 2.2 Biometria dos frutos

Foram selecionados aleatoriamente 10 frutos de cada tratamento dos nove indivíduos avaliados para determinação das características biométricas: massa do fruto, massa do epicarpo (casca), massa do mesocarpo (polpa), massa do endocarpo (casca dura que envolve a amêndoa) e massa da

amêndoa determinadas em balança analítica (Bel Engineering, Série Mark), diâmetro maior e diâmetro menor, medidos com paquímetro digital 150 mm/6”.

Os frutos foram descascados e despulpados manualmente com o auxílio de faca de aço inoxidável. O endocarpo foi quebrado utilizando Morsa Torno De Bancada N4 Serie Super Somar. Os frutos foram mantidos a - 18 °C até sua utilização.

### 2.3 Obtenção da fração lipídica

Para obtenção do óleo, a polpa de macaúba foi homogeneizada com éter de petróleo em liquidificador com copo em aço inoxidável (Marca Bermar, modelo BM65). O solvente foi removido por rotaevaporação a 35 °C. Todo o processo foi realizado em ambiente de baixa luminosidade para evitar degradação dos carotenóides.

### 2.4 Análises químicas da polpa

A umidade da polpa dos frutos foi obtida por dessecação em estufa a 105 °C até massa constante [13] e teor de lipídeos determinado em aparelho Soxhlet [13] utilizando amostra seca e hexano como solvente orgânico.

### 2.5 Análises bioquímicas da polpa

Para a obtenção dos extratos brutos dos ensaios de lipase e peroxidase realizou-se a pesagem de 1 g da polpa integral, adicionado de 20 mL de tampão Tris-HCl 0,1M pH 8,0M para as amostras de lipase e Tris-HCl 0,1M pH 6,5 para as amostras de peroxidase, ambos gelados, com agitação por 30 segundos, filtração em gaze, centrifugação a 6000 rpm/ 10min e coleta do sobrenadante. Os extratos foram mantidos a -18 °C até sua utilização [14, 15]. A atividade da lipase foi determinada segundo o protocolo descrito por laderoza et al. (1991) [14] com modificações. O extrato enzimático bruto foi distribuído em tubos de ensaios e acrescentaram-se 5 mL de emulsão de triacetina (25% de triacetina/75% de solução de goma de arábica 7%), mais 2 mL de tampão Tris-HCl 0,1 M pH 8,0. Adicionou-se 1 mL da solução enzimática, incubou-a em

banho-maria sob agitação de 27 °C/30min. A reação foi paralisada com 20 mL de solução acetona/etanol (1:1) em volume, a seguir adicionaram-se de 2-3 gotas de solução 0,5% de fenolftaleína em etanol e procedeu-se a titulação com solução NaOH 0,05 N padronizado. O teor de proteínas solúveis nos extratos brutos, empregado para calcular a atividade específica de lipase foi obtida pela dosagem de proteína através das leituras de absorvância em 260 e 270 nm do extrato bruto de lipase [14].

Para a determinação da atividade de peroxidase, foi adotado o método descrito por Fatibello Filho *et al.*, (2002) [15], medindo-se a variação de absorvância em 470 nm do tetraguaiacol formado na reação enzimática. Nessa determinação foram usados 0,50 mL do extrato bruto de peroxidase, 1 mL da solução guaiacol 50 mM, 1 mL da solução de peróxido de hidrogênio 15 mmol L<sup>-1</sup> e 1 mL de tampão Tris HCl 0,1 (pH 6,5). Uma unidade de atividade (unidades/mL) foi definida como a quantidade de enzima que causa o aumento de 0,001 unidades de absorvância por minuto nas condições supramencionadas. O teor de proteínas solúveis nos extratos brutos, empregado para calcular a atividade específica da peroxidase foi obtida pela dosagem de proteína através das leituras de absorvância em 260 e 270 nm do extrato bruto de peroxidase [15].

## 2.6 Análises químicas do óleo

A qualidade do óleo da polpa foi monitorada através de análises químicas. Foram determinadas as absorvidades molar em 232 nm e 270 nm, que indicam a formação de dímeros e trímeros resultantes de reações de degradação de óleos, respectivamente [16]. O índice de peróxido e a acidez (expresso em porcentagem de ácido oleico) foram determinados segundo as normas da AOCS (1983) [13].

A análise do teor de carotenóides totais no óleo foi realizada através da leitura das amostras no espectro visível a 450 nm (Marca Aquamate, modelo v. 4,55) utilizando éter de petróleo como solvente orgânico [17].

O perfil de ácidos graxos foi determinado em cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (Marca Agilent Technologies, modelo 6890N). Os ésteres metílicos dos ácidos graxos (FAME), produzidos com o catalisador

trifluoreto de boro ( $\text{BF}_3$ ), foram avaliados sob as seguintes condições: temperatura do injetor de 225 °C; temperatura do detector de 285 °C; temperatura da coluna (HP-88 100 m x 0,250 mm) de 160 °C inicial por 3 minutos, rampa de 3 °C/min até 190 °C por 6 minutos e rampa de 6 °C/min até temperatura final de 230 °C por 12 minutos. O tempo total da corrida foi de 37,67 minutos, razão de split 100:1, fluxo de gás hidrogênio 40 mL/min, fluxo de ar sintético 450 mL/min, fluxo de gás hélio 40 mL/min, volume de injeção 1 µL. A identificação dos ácidos graxos foi realizada através da comparação do tempo relativo dos picos existentes na amostra com o tempo relativo dos ésteres metílicos de ácidos graxos de padrão mix (C8-C22, Supelco).

## 2.7 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com nove repetições. Este estudo teve como variável independente o tempo de permanência dos frutos no coletor, 1, 6, 11, 16, 21, 26 e 31 dias. As análises químicas e bioquímicas foram realizadas em triplicata, com exceção do perfil de ácidos graxos que foi determinado em duplicata. Os resultados foram submetidos à de regressão, por meio do programa Sisvar.

## 3. Resultados e Discussão

Os frutos de macaúba apresentaram-se íntegros e sem contaminação fúngica visual durante o período em que permaneceram no campo, mantidos no sistema coletor (Figura 02). O protótipo idealizado para a captação e manutenção dos frutos mostrou-se, portanto, eficaz na preservação da integridade da casca, condição fundamental impedir o acesso de microrganismos a polpa.

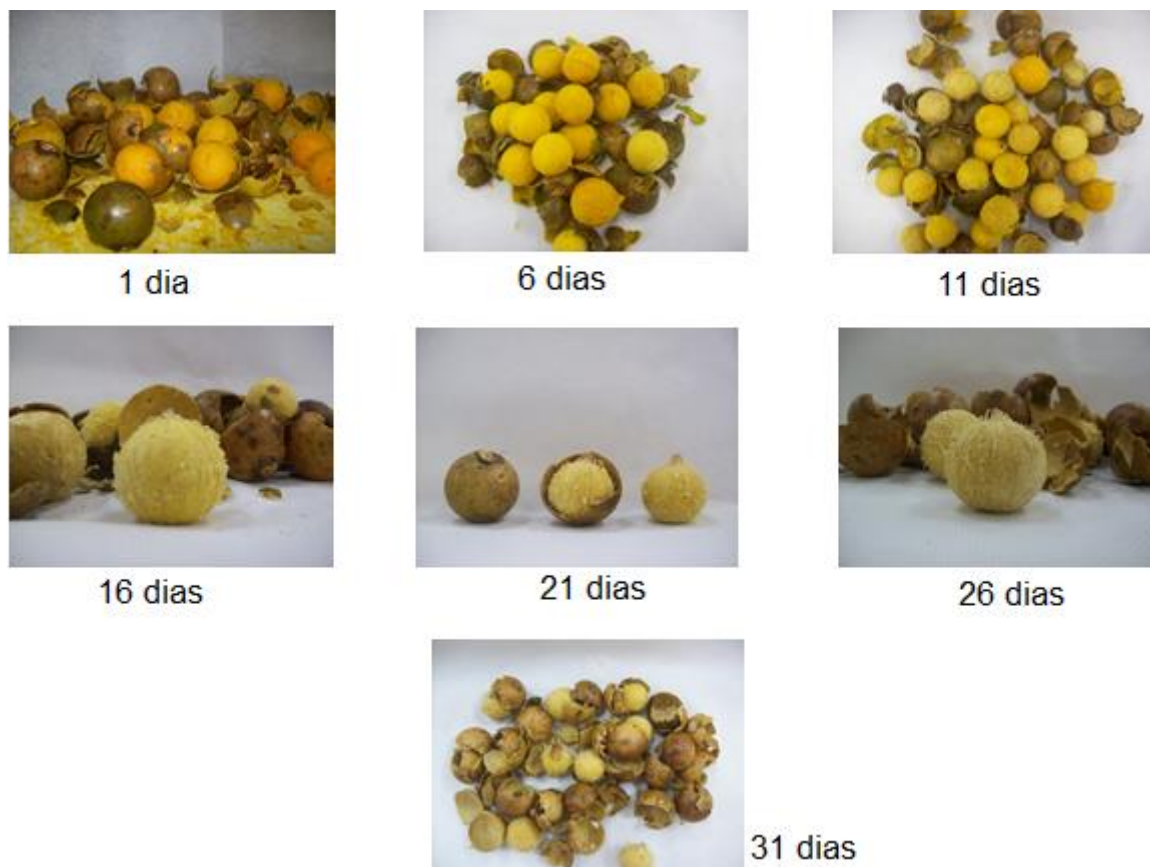


Figura 02. Frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata* Jacq. Lodd.) mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos (Dourados/MS, dezembro/2011 e janeiro/2012).

Observou-se discreta variação nas dimensões dos frutos durante o período de permanência no coletor (Figura 03). Para diâmetro maior não observou efeito significativo, tendo como média 31,43 mm. (Figura 03) Para o diâmetro menor houve efeito cúbico, mostrando um aumento aos 6 dias, diminuindo nos 11 dias, seguido de pico máximo aos 16 dias e decaindo até os 31 dias de coleta, sendo a média total de 30,90 mm (Figura 03).



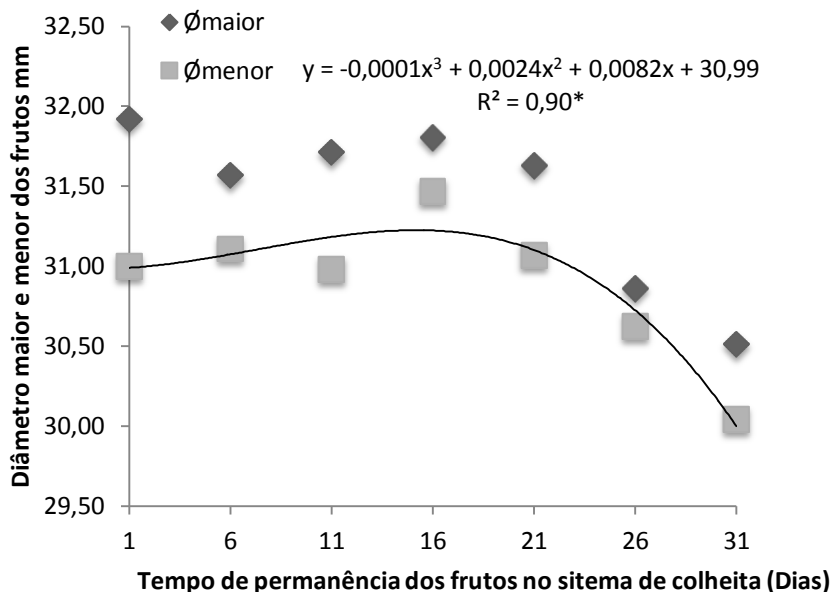


Figura 03. Diâmetro maior e menor de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata* Jacq. Lodd.), mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \* $P < 0,05$ ).

O tamanho dos frutos pode ser influenciado pelo estágio de maturação em que os frutos se encontram, fatores genéticos e pelas condições climáticas sob as quais se desenvolve a planta [18, 19]. Um fator relevante são as condições em que estes frutos estavam no campo, ficando expostos às condições do ambiente.

A perda de massa dos frutos de macaúba foi gradual, tendo ao final do experimento (31 dias) redução de 39,89% em relação à massa inicial (Figura 04). Santelli *et al* (2006) [18], trabalhando com frutos da palmeira *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc. (gueroba) na região Centro-Oeste brasileira, observaram perda gradativa de massa dos frutos que foram armazenados por 11 dias/25 °C. Comparativamente, em um ensaio com frutos de *Mauritia vinifera* Mart. (buriti), frutos foram colhidos maduros e armazenados a 25 °C por 30 dias, neste período foi registrada perda gradativa da massa dos frutos, em que os frutos perderam 0,1 g de massa por dia, sendo que cada fruto pesava cerca de 70 g [19].

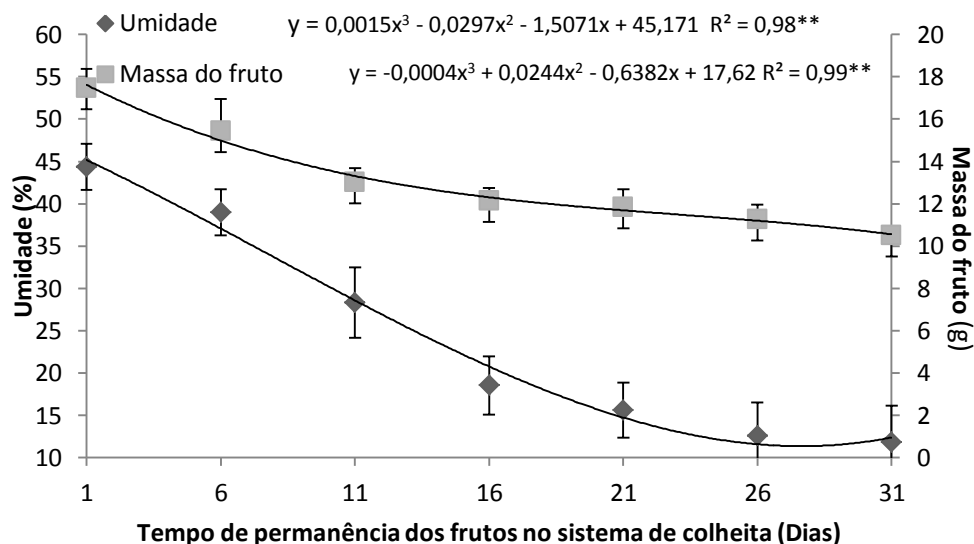


Figura 04. Umidade na polpa de macaúba e massa de frutos inteiros mantidos no campo em sistema coletor, Itaum, MS, dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*  $P < 0,01$ ).

A perda de massa dos frutos está associada principalmente à saída de água em decorrência da transpiração e respiração dos frutos. A umidade do fruto também seguiu tendência de comportamento polinomial cúbico em função do tempo de permanência no coletor (Figura 04).

Essas perdas de massa se tornam maiores quando as frutas são armazenadas em altas temperaturas e/ou baixa umidade relativa. Pode ser acentuada ainda quanto maior o grau de amadurecimento da fruta, chegando a níveis baixos na senescência da fruta, quando esta não se apresenta mais apta à comercialização [21, 22].

O decréscimo marcante na massa não acompanhado pela redução do tamanho do fruto deve ser considerado para as etapas de transporte e armazenamento. Embora a massa diminua o volume ocupado apresentou pequena alteração.

O teor de lipídios da polpa em função do tempo de permanência dos frutos no campo seguiu tendência cúbica no intervalo avaliado (Figura 05). A regressão indicou um ponto de máximo teor de lipídeos aos 11 dias, atingindo 40,35%. Após este período, houve queda até os 31 dias. Ocorre, portanto, síntese de lipídeos após os frutos serem destacados do cacho.

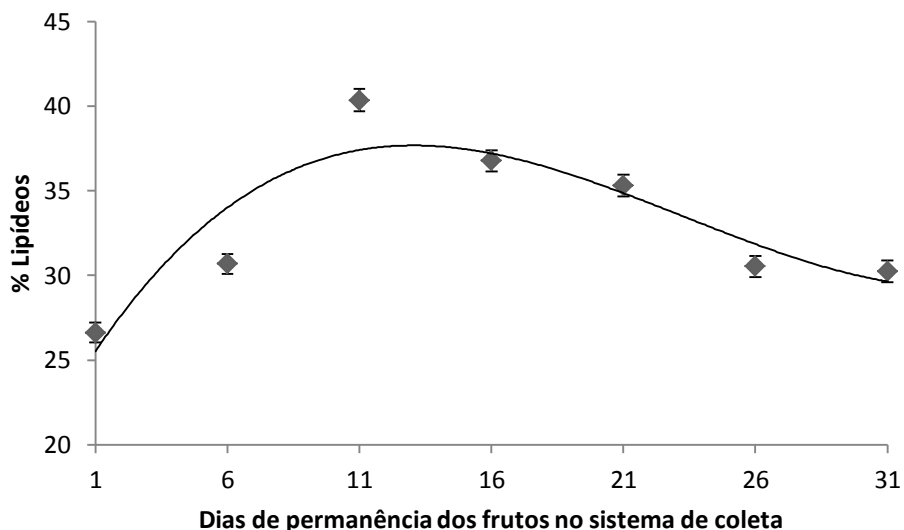


Figura 05. Teor de lipídeos na polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01).

A atividade de lipase decresceu do 6º ao 26º dia, depois tendeu a estabilidade com o tempo de permanência no coletor (Figura 06). Nos primeiros 6 dias, houve uma tendência de elevação e após o decréscimo da atividade. A variação da atividade específica de lipase entre os intervalos, provavelmente, está relacionada à atividade de água ( $a_w$ ) que decresceu linearmente com o tempo de permanência no coletor (Figura 07). A correlação entre estes dois parâmetros foi de 0,98 (P < 0,05).

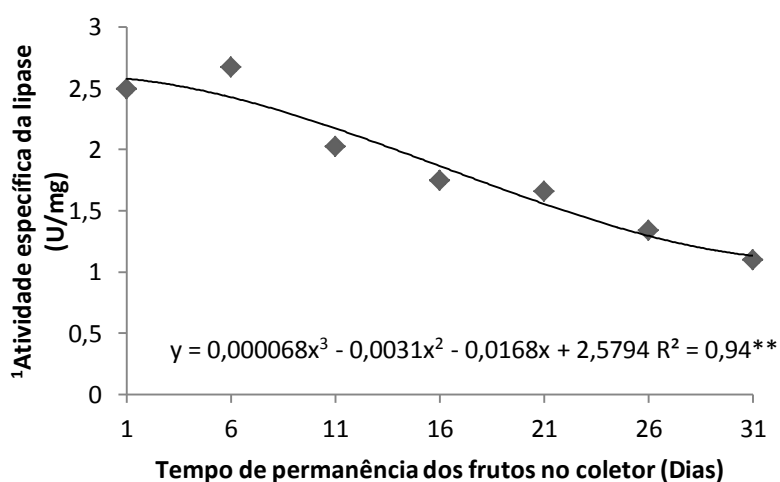


Figura 06. Atividade de lipase em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01). <sup>1</sup>uma unidade de lipase= quantidade de enzima que liberou 1 micromol ( $\mu\text{mol}$ ) de ácidos graxos por minuto.

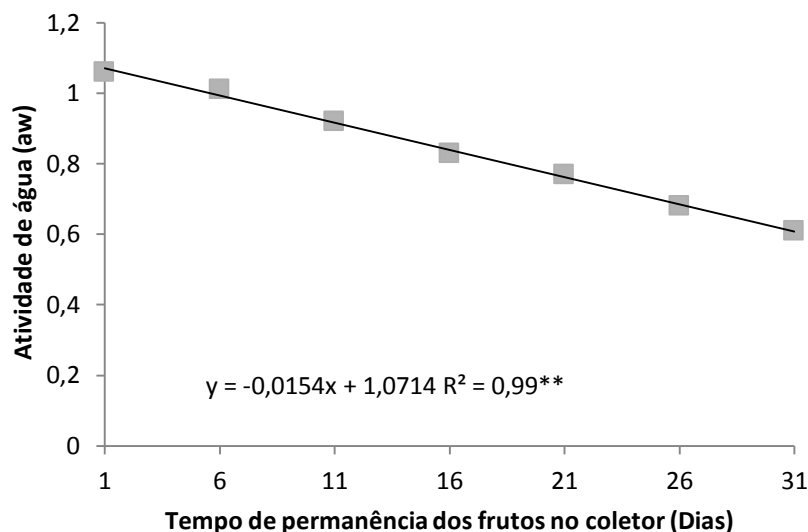


Figura 07. Atividade de água em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01).

A  $a_w$  no sistema é um dos parâmetros de maior importância para a reação das enzimas [26]. Dependendo das condições, as lipases podem catalisar reações de síntese, como de esterificação, transesterificação (interesterificação, alcóólise e acidólise), aminólise (síntese de amidas) e lactonização (esterificação intramolecular), sendo que a atividade de água do meio reacional é um dos fatores determinantes para o equilíbrio da reação no sentido direto (hidrólise) ou inverso (síntese) [26, 27, 28].

Em estudo realizado por Wehtje *et al.*, (1997) [29], a atividade da lipase foi avaliada em meios orgânicos, mostrando que a atividade de água influenciou na velocidade das reações enzimáticas. O mesmo foi observado em estudo de Borrmann *et al.*, (2009) [30] que verificaram em grãos de soja foram conduzidos sob condições de déficit hídrico, verificaram que a atividade de enzimas foi menor onde a  $a_w$  encontrava-se na faixa de 0,6 e 0,7.

A peroxidase (Figura 08), assim como a lipase, apresentou pico máximo de atividade nos frutos no período de retenção de 6 dias no coletor (4707,82 U/mg proteína) com redução após este tempo (992,04 atividade/mg proteína).

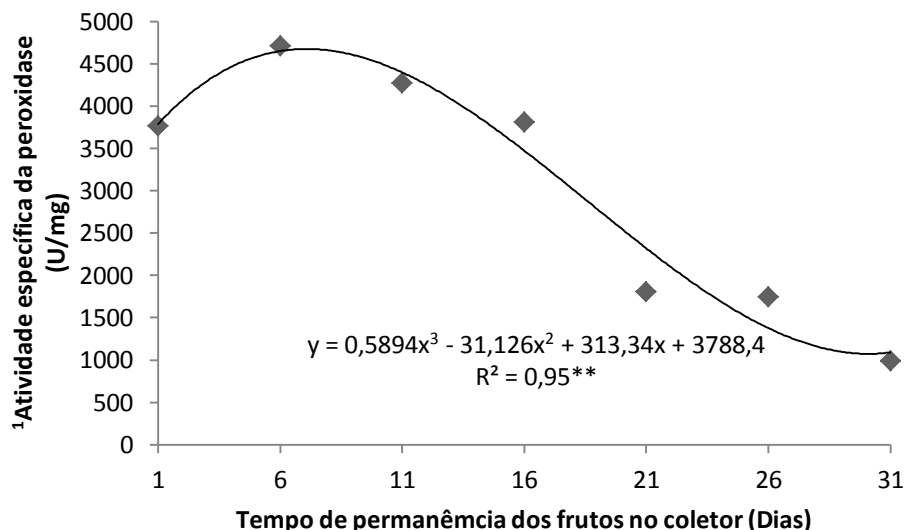


Figura 08. Atividade de peroxidase em polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Dourados/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P< 0,01). <sup>1</sup> uma unidade de peroxidase = 0,001 unidades de absorvância por minuto.

Estudos realizados com pós-colheita de guariroba, demonstraram que a atividade de peroxidase apresentou um perfil de atividade crescente, com um pico máximo no 8º dia após a colheita, indicando que essa enzima deve desempenhar papel importante no fruto que está sob stress [31].

O aumento inicial da atividade de peroxidase pode ter uma resposta a vários estresses bióticos e abióticos [32], sendo que a ação dessa enzima constitui uma proteção antioxidativa nas plantas. Em estudos realizados com frutos climatéricos e não climatéricos verificaram que a peroxidase mostrou aumento somente nos frutos climatéricos, isto é, aumento da atividade com o progresso da maturação e amadurecimento [33]. O grupo das peroxidases está relacionado com os processos de crescimento e diferenciação celular e mudanças morfogênicas [34].

O teor de ácidos graxos livres apresentou aumento durante o período de avaliação (Figura 09). No período compreendido 26 dias no campo os ácidos graxos livres ficou abaixo do limite adequado para óleos brutos - máximo 5,0% [35]. Contudo, aos 31 dias o valor ultrapassou o limite estabelecido pela legislação, alcançando 7,24%.

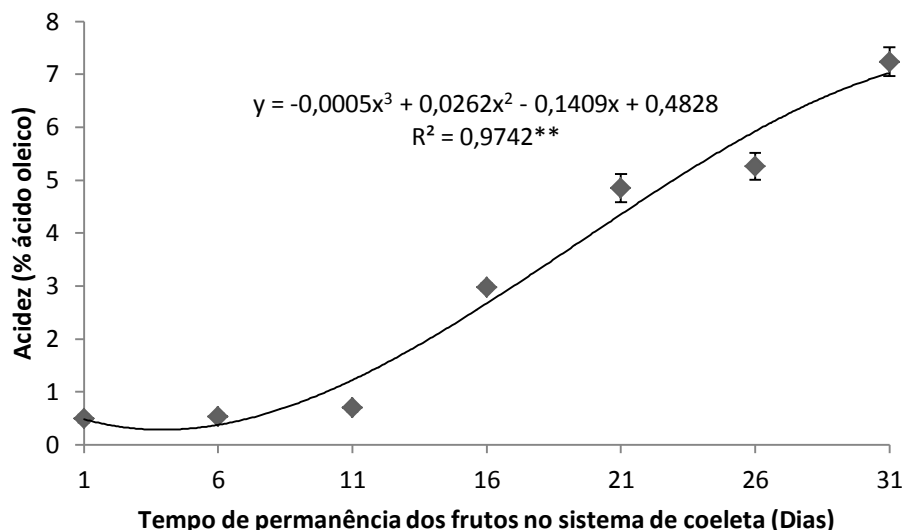


Figura 09. Teor de ácidos graxos livres no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01).

O aumento da acidez indica o desenvolvimento de reações hidrolíticas durante o intervalo avaliado. O surgimento de ácidos graxos livres ocorre devido à presença de água, aumento de temperatura e pode ser catalisado por lipases [36]. Embora a atividade de lipase tenha diminuído após 6 dias de permanência no sistema de colheita, não foi eficiente para impedir o aumento da acidez. Estes resultados sugerem que há a necessidade de se estabelecer tratamentos que visem o controle do aumento de acidez, de maneira a viabilizar a produção de óleo com alta qualidade.

É de extrema importância para as indústrias óleo-químicas manter a acidez baixa. Na produção de biodiesel, por exemplo, empregando-se rota básica a elevada acidez interfere no processo de transesterificação, pois os ácidos graxos livres formados reagem com o catalisador alcalino formando produtos saponificados, diminuindo a eficiência de conversão [37].

A formação de compostos primários de degradação (absortividade em 232 nm) no óleo de polpa de macaúba ocorreu durante todo o tempo em que os frutos permaneceram no sistema de colheita (Figura 10). O mesmo aconteceu para a absortividade em 270 nm (Figura 10) demonstrando a formação de compostos secundários (trienos, cetona, aldeídos).

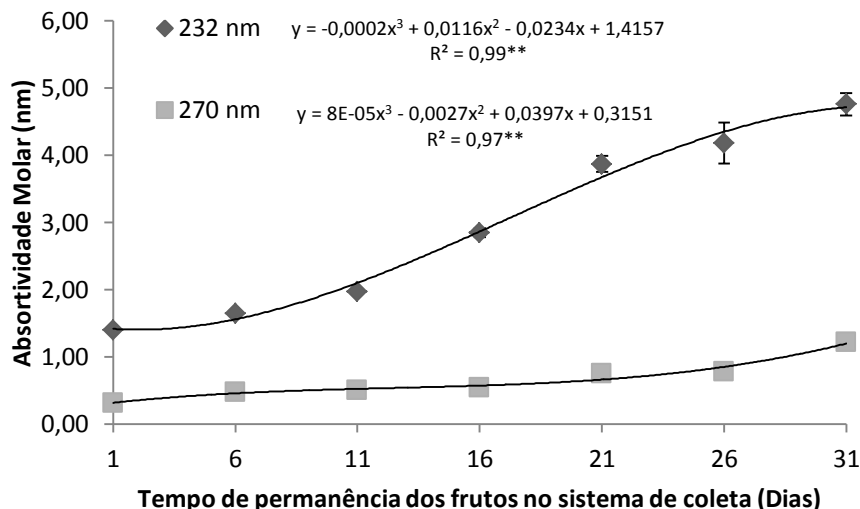


Figura 10. Absortividade Molar a 232 nm e 270 nm no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01).

As absortividades a 232 nm e 270 nm permitem diferenciar estados da evolução oxidativa da amostra analisada. Quanto maior o valor da absorbância a 232 nm, mais elevado será o conteúdo em compostos primários de degradação, indicando início do processo oxidativo. Estágios mais avançados de degradação de lipídeos estão relacionados ao surgimento de substâncias estáveis como trienos conjugados, os quais podem ser detectados pelo aumento da absorbância a 270 nm [38].

Observa-se que durante as avaliações de qualidade de óleo na polpa de macaúba, houve aumentos para absortividade molar a 232 nm e 270 nm. Mostrando que ao longo do tempo este óleo sofreu processos de degradação oxidativa.

Outro indicador de reações oxidativas em óleos é o índice de peróxido e este também demonstrou a ocorrência de intensa degradação oxidativa no óleo dos frutos mantidos sob condições de campo no coletor (Figura 11).

No óleo avaliado da polpa de macaúba observou-se aumento intenso no índice de peróxido com o avanço do tempo de residência dos frutos no coletor (Figura 11). De acordo com a legislação brasileira [39] o limite do índice de peróxido para óleos brutos é de 10 meq kg<sup>-1</sup>. Portanto, o óleo de polpa ficou dentro do valor estabelecido até o 11º dia de permanência no coletor. Após 16

dias o valor de peróxidos houve um aumento em relação ao 11º dia. No último período avaliado o índice de peróxido aumentou em torno de 14 vezes em relação ao 11º dia.

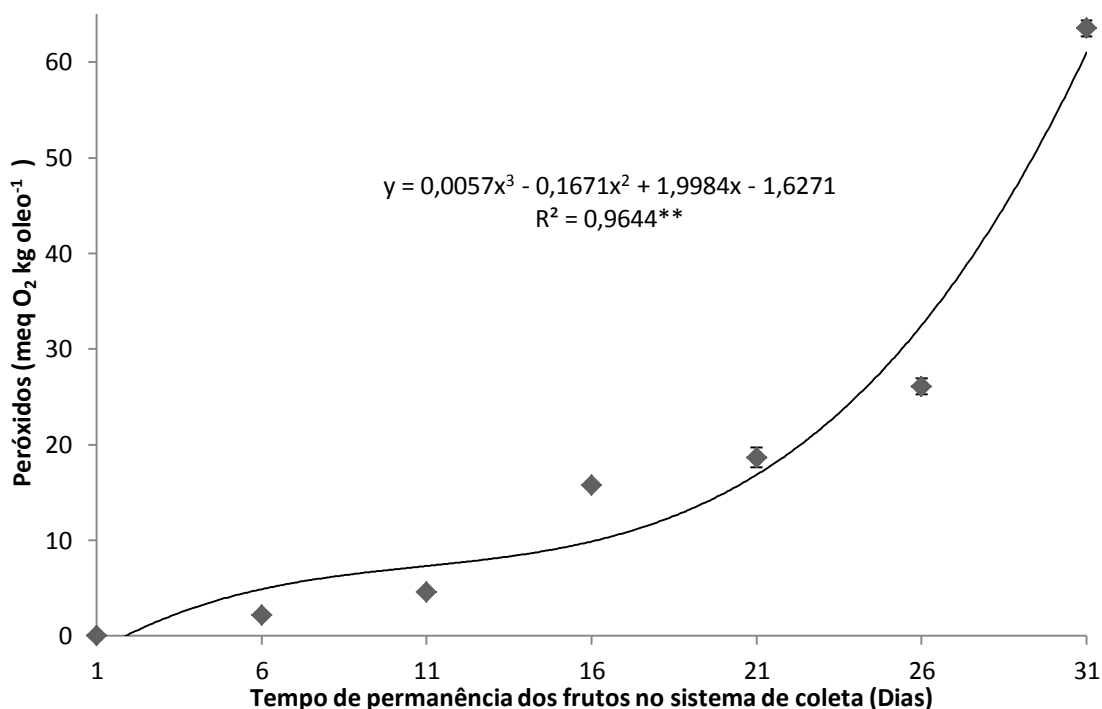


Figura 11. Peróxidos no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*\*P < 0,01).

Estudos mostram que existe uma relação entre a absorvância molar a 232 nm e o índice de peróxido. Srinivasan *et al.*, (1996) [40] ao estudar métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante ao reunir informação de vários autores, descreve sobre o método de determinação espectrofotométrica, destacando que quanto maior o valor da absorvância a 232nm mais elevado foi o conteúdo de peróxidos, portanto, o início do processo de oxidação. Neste estudo ficou comprovado esta teoria, sendo a correlação entre estes dois parâmetros de 0,88 mostrando que quanto maior a absorvância a 232 nm, maior o índice de peróxido.

O teor de carotenóides totais (Figura 12) apresentaram decréscimo de 849,66 mg L<sup>-1</sup> para 57,69 mg L<sup>-1</sup> durante o período de avaliação. Uma razão para a degradação de carotenóides durante o armazenamento nos coletores envolve a oxidação. Carotenóides na sua forma natural são esterificados em



ácidos graxos. Assim, os mecanismos de oxidação de carotenóides são paralelos à degradação lipídica. A oxidação lipídica é iniciada pela adição de oxigênio ou remoção de hidrogênio ou elétrons, tal reação pode ser acelerada pelo calor, pela ação da luz, ionização, traços de metais (Cu e Fe), metalproteína e pela ação de enzimas (lipase) [41].

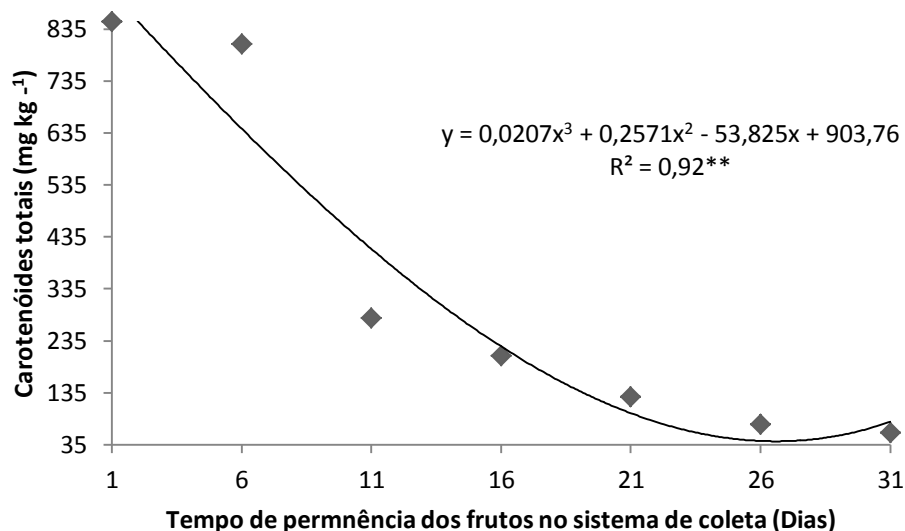


Figura 12. Carotenóides totais no óleo da polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012, (barras indicam desvio padrão, \*P < 0,05).

Carotenóides são bastante estáveis dentro de células vegetais intactas, mas tornam-se muito mais instáveis quando os frutos são submetidos a manejo pós-colheita, práticas e métodos de processamento. Estes pigmentos são sensíveis ao oxigênio, peróxidos, temperatura, luz, tipo de embalagem (atmosfera modificada embalagem), e tempo de armazenamento [42], exposição a qualquer um desses elementos pode provocar alterações indesejáveis na estrutura e a bioatividade dos carotenóides. Além disso, a atividade anti-oxidante pode ser alterada significativamente [43].

O perfil de ácidos graxos do óleo da polpa de macaúba apresentou predominância de ácidos graxos insaturados, com alto conteúdo de ácido oleico (Tabela 01). Dentre os saturados, o ácido palmítico é predominante. Os valores encontrados para ácido oleico apresentaram regressão linear crescente, enquanto que o ácido palmítico apresentou regressão linear decrescente. Nos intervalos de 26 e 31 dias houve o surgimento do ácido graxo insaturado eicosadienóico (C20:2- Cis-11,14).

Tabela 01. Perfil de ácidos graxos insaturados do óleo de polpa de frutos de macaúba mantidos no campo em sistema coletor por diferentes períodos, Itaum/MS dezembro/2011 e janeiro/2012.

Ácidos Graxos	Porcentagem relativa dos ácidos graxos Tempo de permanência no coletor (dias)						
	1	6	11	16	21	26	31
C12:0	2,52±0,08	2,41±0,11	2,32±0,10	2,27±0,08	2,19±0,10	1,89±0,07	1,78±0,08
C14:0	0,93±0,01	0,90±0,01	0,89±0,01	0,71±0,01	0,70±0,01	0,67±0,01	0,54±0,01
C16:0 <sup>1</sup>	20,16±0,34	19,85±0,35	19,78±0,06	19,60±0,06	19,50±0,06	19,34±0,06	18,58±0,14
C16:1(ω7)	2,43±0,07	2,28±0,07	2,21±0,06	2,08±0,07	2,06±0,05	0,19±0,01	0,14±0,01
C18:0	3,88±0,37	2,58±0,08	2,52±0,08	2,30±0,08	2,26±0,28	3,90±0,06	2,11±0,08
C18:1(ω9) <sup>2</sup>	61,01±0,45	61,73±0,42	62,36±0,48	62,42±0,47	62,81±0,48	63,14±0,47	63,36±0,48
C18:1n11c	2,67±0,09	2,66±0,09	2,57±0,07	2,40±0,09	2,37±0,09	2,23±0,09	2,17±0,09
C18:2(ω6)	3,51±0,13	3,93±0,06	3,94±0,05	3,95±0,06	3,51±0,24	3,00±0,06	3,26±0,48
C18:3(ω3)	1,30±0,03	1,29±0,06	1,12±0,06	1,07±0,04	0,99±0,01	0,97±0,01	0,80±0,05
C20:2- Cis-11,14	nd <sup>3</sup>	nd	nd	nd	nd	0,46±0,05	0,39±0,05
C24:1	1,07±0,07	0,61±0,06	0,58±0,07	0,48±0,08	0,43±0,07	0,38±0,07	0,35±0,06
Ácidos graxos saturados	27,50±0,27	25,74±0,50	25,50±0,22	24,88±0,21	24,64±0,41	25,80±0,19	23,00±0,28
Ácidos graxos insaturados	71,97±0,45	72,49±0,32	72,78±0,41	72,38±0,40	72,16±0,50	70,37±0,31	70,47±0,68

Média ± desvio padrão

<sup>1</sup>P < 0,01 R<sup>2</sup> = 0,86 (y = -0,2162x+20,41)

<sup>2</sup>P < 0,01 R<sup>2</sup> = 0,94 (y = 0,3688x+60,928)

<sup>3</sup>não detectado

#### 4. Conclusão

O óleo da polpa de macaúba deteriorou em função do tempo de permanência no campo.

A atividade enzimática aumentou até 6 dias de permanência dos frutos no sistema de colheita, seguido de decréscimo até os 31 dias.

O conteúdo de lipídeo aumentou até 11 dias de permanência dos frutos no sistema de colheita.

Os frutos podem permanecer no campo num sistema de colheita por até 11 dias sem comprometimento da qualidade do óleo de polpa.

#### 5. Referências

- Ramos, M. I. L. (2007). Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd) improved vitamin A status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22:3186 - 3190.
- Hiane, P. A. (1992). Composição Centesimal e perfil de ácidos graxos de alguns frutos nativos do Estado de Mato Grosso do Sul. *Boletim CEPPA*, 10: 35 - 42.
- Cetec – Centro Tecnológico de Minas Gerais (1983). Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG.

4. Roscoe, R.; Richetti, A.; Maranhão, E. (2007). Análise de viabilidade técnica de oleaginosas para produção de biodiesel em Mato Grosso do Sul. *Revista Política Agrícola*, 1:48 - 59.
5. Ciconini, G; Favaro, S. P.; Roscoe, R.; Miranda, C. h. b.; Tapeti, C. F.; Miyahira, M. A. M.; Bearari, L.; Galvani, F.; Borsato, A. V.; Conalço, L. A.; Naka, M.H (2013). Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45: 208– 214.
6. Hiane, P. A.; Filho, M. M. R.; Ramos, M. I. L.; Macedo, L. R. (2005). Bocaiúva. *Acrocomia Aculeata* (Jacq.) Lodd. Pulp and Kernel Oils: Characterization and Fatty Acid Composition. *Food Technology*, 8: 256 - 259.
7. Dzisiak, D. (2004). New oils reduce saturated and trans fats in processed foods. *Cereal Foods World*, 49:331 - 333.
8. Rodriguez-Amaya, D.B (2001). *Aguide to carotenoid analysis in foods*. Washington, DC: International Life Sciences Institute 64p.
9. Ramos, M. I. L.; Ramos Filho, M. M.; Hiane, P. A.; Braga Neto, J. A.; Siqueira, E. M. A. S. (2008). Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28: 90 - 94.
10. Hiane, P. A.; Penteado, M. V. C (1989). Carotenóides e valor de vitamina A do fruto e da farinha de bocaiúva (*Acrocomia mokayáya* Barb.Rodr.) do Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista de Farmácia-Bioquímica da Universidade de São Paulo*, 25 (2):158-168.
11. Sambanthamurthi, R.; Chong, C. L.; Khaik, C.; Yeu, K. H.; Premavathy, R (1991). Chilling-induced lipid hydrolysis in the oil palm (*Elaeis guineensis*) mesocarp. *J. Exp. Botany*, 42: 1199-1205.
12. Sambanthamurthi, R.; Sundram, K.; Tan, Y (2000). Chemistry and biochemistry of palm oil. *Prog Lipid Res.*, 39: 507-558.
13. AOCS - American Oil Chemists' Society: Official and Tentative Methods. (1983). Champaign.
14. Iaderoza, M.; Baldini, V. L. S. A (1991). Importância da análise enzimática em alimentos. In: IADEROZA, M; BALDINI, V. L. S. *Enzimas e a qualidade de vegetais processados*. Campinas: ITAL, 1991. (Manual Técnico).
15. Fatibello-filho, O. V.; Cruz, I (2002). Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. *Química Nova*, 25 (3): 455-464.
16. IUPAC - International union of pure and applied chemistry. (1979). *Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives*. 6a ed. Oxford.
17. Porim. (1990). Palm oil Research Institute of Malaysia. Determination of carotene content. *Malasya*, pp 2 - 6.

18. Santelli, P.; Calbo, M.E.R.; Calbo, A.G (2006). Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc. (Arecaceae). *Acta Botânica Brasileira* 20: 523-528.
19. Santelli, P.; Calbo, M.E.R.; Calbo, A.G (2009). Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Mauritia vinifera* Mart. (Arecaceae). *Acta Bot. Bras.*23:3.
20. Chitarra, M. I. F.; Chitarra, A. B (200). Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. *Rev. e ampl. Lavras: UFLA.* 2. ed.
21. Biale, J. B (1960). The postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. *Advances in Food Research*, 10:293-354.
22. Sacher, J. A (1973). Senescence and Postharvest Physiology. *Annual Review of Plant Physiology*, 24:197-224.
23. Rhodes, M. J. C (1980). Respiration and senescence of plant organs. In: P.K. Stump & E.E. Conn. *The biochemistry of plants, a comprehensive treatise.* Academic Press, New York, p. 419-462.
24. Burg, S. P.; Burg, E. A (1965). Ethylene action and the ripening of fruits. *Science*, 148: 1190-1196.
25. Rahman, MH; Okubo, A; Sugiyama, S; Mayland, HF. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil and tillage research.* 101:10-19.
26. Mahadik, N. D.; Puntambekar, U. S.; Bastawde, K. B.; Khire, J. M.; Gokhale, D. V (2002). Production of Acidic Lipase by *Aspergillus niger* in Solid State Fermentation. *Process Biochemistry*, 38: 715.
27. Jaeger, K. E.; Eggert, t (2002). Lipases for biotechnology. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 13: 390-397.
28. Saxena, R. K.; Davidson, W. S.; Sheoran, A.; Giri, B (2003). Purification and characterization of an alkaline thermostable lipase from *Aspergillus carneus*. *Process Biochemistry*, 39 (2):239-247.
29. Wehtje, E.; Adlercreutz, P(1997). Water activity and substrate concentration effects on lipase activity. *Biotechnol Bioenh*, 55(5):798-806.
30. Borrmann, D.; J, R. M.; Sinnecker, P.; Gomes, M. S. O.; Castro, I. A.; Marquez, U. M. L (2009). Chemical and biochemical characterization of soybean produced under drought stress. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(3):676-681.
31. Carneiro, C. E. A; Rolim, H. M.V; Fernandes, K. F (2003). Estudo das atividades de peroxidases e polifenoloxidase de quariroba (*syagrus oleracea* Becc) sob a ação de diferentes inibidores. *Acta Scientiarum: Biological Sciences.* Maringá, v.25,p.189-193.

32. Kwak, S. S.; Kim, S. K.; Park, I. H.; Liu, J. R (1996). Enhancement of peroxidase activity by stress-related chemicals in sweet potato. *Phytochemistry*, 43:565-568.
33. FRENKEL, C (1972). Involvement of peroxidase and indole-3-acetic acid oxidase isozymes from pear, tomato, and blueberry fruit ripening. *Pl. Physiol.*, v. 49, p. 757-63.
34. Siegel, B. Z (1993). Plant peroxidases: an organism perspective. *Plant Growth Regulation*, 12:303-312.
35. Brasil (2005). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 23 set. 2005. Seção 1. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 18 de dezembro de 2012.
36. Cella, R. C. F.; Reginato-D' Arce, M. A. B.; Spoto, M. H. F. (2002). Comportamento do óleo de soja refinado utilizado em fritura por imersão com alimentos de origem vegetal. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 22:111 - 116.
37. Alves, T. M. A.; Silva, A.F.; Brandão, M.; Grandi, T. S. M.; Smânia, E. F. A.; Júnior, A. S.; Zani, C. L (2000). Biological Screening of Brazilian Medicinal Plants. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 95(3):367-373.
38. Kusdiana, D.; Saka, S. (2001). Methyl esterification of free fatty acids of rapeseed oil as treated in supercritical methanol. *Journal of Chemical Engineering*, 34:383-387.
39. Brasil - Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 482. (1999). Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais.
40. Srinivasan, S.; Xiong, Y.L.; Decker, E.A (1996). Inhibition of Protein and Lipid Oxidation in Beef Heart Surimilike Material by Antioxidants and Combinations of pH, NaCl and Buffer Type in the Washing Media *J. Agric. Food Chem.* 44:119-125.
41. Rodriguez-Amaya, D.B.; Kimura, M. (2004). *HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington DC.
42. Fennema, O.R., 1996. Water and ice. In: *Food Chemistry*, Fennema, O.R. (Ed.). Marcel Dekker, USA, 17-94.

### **CAPITULO 3**

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista BioEnergy Research

([www.springer.com/life+sciences/plant+sciences/journal/12155](http://www.springer.com/life+sciences/plant+sciences/journal/12155))

## Uniformidade de maturação dos frutos no cacho de macaúbas nativas do Pantanal e Cerrado

### Resumo

Objetivou-se avaliar a uniformidade de maturação dos frutos no cacho em plantas de macaúba com ocorrência natural nos biomas Pantanal e Cerrado. Foram monitoradas dez palmeiras de macaúba nos municípios de Corumbá (bioma Pantanal) e Itaum (bioma Cerrado) no Estado de Mato Grosso do Sul. Selecionou-se um cacho de cada planta e o separou em três porções: apical, mediana e distal. Foram realizadas as seguintes análises em cada porção do cacho: frutos inteiros foram caracterizados biometricamente, a polpa foi avaliada quantitativamente em relação à umidade, teor de lipídeos, atividade específica de lipase e peroxidase. A qualidade do óleo, extraído a frio com éter de petróleo, foi monitorada quanto a acidez, absorvidade molar a 232 e 270 nm, carotenóides totais, índice de peróxido e perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa. Para todos os parâmetros qualitativos e quantitativos avaliados, observou-se que a diferença entre as porções do cacho foram mínimas. Conclui-se que os frutos de macaúba, tanto no bioma Pantanal quanto Cerrado, apresentam uniformidade de desenvolvimento e composição em todo o cacho, podendo ser colhidos inteiros.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*, ácidos graxos, lipase, peroxidase, biometria.

### Introdução

A macaúba é uma palmeira (*Acrocomia aculeata*) de ocorrência no Estado de Mato Grosso do Sul, encontrada tanto na região do Pantanal, quanto na região Peri-Pantaneira e planalto, sobretudo associados às serras da Bodoquena e de Maracajú. Além de ser uma espécie com elevado potencial para produção em pequena escala, por possuir alta renda bruta por área, a macaúba encontra-se inserida na cultura local, fazendo parte da tradição indígena e das populações tradicionais. Esta palmeira tem um futuro promissor não só na cadeia do biodiesel, mas também possui grande potencial alimentício.

A palmeira apresenta em média 16 m de altura, o pedúnculo do cacho é recoberto por acúleos finos e agudos. Possui fruto de cor verde-amarelo, composto de polpa amarela, oleosa que recobre o endocarpo de cor preta, lenhoso, duro, contendo amêndoa, raramente duas, branca oleosa, recoberta por membrana escura e pouco espessa. Ciconini *et al.*, 2013 [1] relataram que no bioma Cerrado (Campo Grande - MS e Aquidauana - MS) o fruto possui 50% de umidade, pesando 34 g quando úmido e é composto de quatro partes distintas: 19,6% de casca externa (epicarpo), 46,9% de massa oleosa

(mesocarpo), 28,2% casca lenhosa do endocarpo e 5,2% amêndoa oleosa. Porém, no Bioma Pantanal (Corumbá e Aquidauana) o fruto possui 57% de umidade, pesando 17g quando úmido e composto por 17,9% de epicarpo, 51,3% de mesocarpo, 23,3% de endocarpo e 6,7 de amêndoa [1]. A frutificação ocorre durante todo o ano e os frutos amadurecem, principalmente, entre setembro e janeiro [2]

A polpa de macaúba é rica em carotenóides (9.590 UL/100 g) [3], o qual é precursor da vitamina A, tendo assim atuação benéfica à saúde humana. Por ser rico em  $\beta$ -caroteno, os frutos da palmeira podem ser utilizados nas dietas regionais em programas de suplementação alimentar, como as merendas escolares e cestas básicas oferecidas pelo governo como uma fonte natural desse nutriente, além de oferecer minerais como cobre, potássio e zinco.

Há também, perspectivas reais de utilização da macaúba como matéria-prima para produção de biodiesel e para indústrias alimentícias. No entanto, o sistema de produção de macaúba ainda encontra-se em fase de desenvolvimento. O procedimento para colheita dos frutos é um dos principais desafios tecnológicos a ser estabelecido. Os frutos quando maduros, diferentemente da palma de óleo (*Elaeis guinensis*), desprendem-se naturalmente do cacho, iniciando da parte distal em direção à proximal. Em razão desta observação empírica a obtenção dos frutos de macaúba tem sido realizada colhendo-os já caídos no chão, pois acredita-se que somente desta forma teriam atingido a maturidade plena. O contato com o solo promove umidade elevada e contaminação microbiana, o que provoca rápida degradação dos frutos com perdas quantitativas e qualitativas, sobretudo, do óleo da polpa.

Estudos sobre a uniformidade de maturação no cacho, que poderiam conduzir a uma colheita mais racional, ainda são incipientes para esta espécie. No caso da palma de óleo o cacho inteiro é retirado numa única operação, facilitando a operacionalização desta etapa. Desta maneira, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de maturação dos frutos no cacho em macaúbas de ocorrência natural nos biomas Pantanal e Cerrado.



## Material e métodos

### Matéria-prima

Foram monitoradas dez palmeiras de macaúba no município de Corumbá (bioma Pantanal, (19°17.589 S e 57°64.217 W) e dez em Itaum (Distrito de Dourados) (bioma Cerrado, (22°05'43.52"S e 55°20'53.26" W) no Estado de Mato Grosso do Sul, no período de novembro/2010 e dezembro/2012, respectivamente. As plantas selecionadas estavam num mesmo maciço, portanto em condições de solo e clima bastante homogêneas. A coleta dos cachos foi realizada quando se observou o início da queda dos primeiros frutos, considerado empiricamente o ponto de maturação fisiológica. Os cachos foram separados em três porções: apical, mediana e distal (Figura 01).

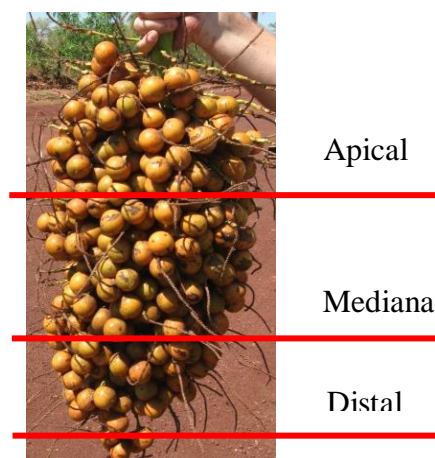


Figura 01. Cacho de macaúba dividido em três porções: apical, mediana e distal. Corumbá/MS, 2010.

### Medidas Físicas dos frutos

De cada porção foram retirados aleatoriamente 20% de frutos, para a determinação dos diâmetros horizontal (maior) e vertical (menor) avaliado com auxílio de paquímetro digital (Zaas Precisiom, 150 mm), e as massas do fruto e

da polpa quantificadas em balança semi-analítica. Os frutos restantes foram despolidos manualmente com faca de aço inoxidável.

#### Análises químicas bioquímicas na polpa

A polpa dos frutos frescos e secos foi avaliada quantitativamente em relação à umidade obtida por dessecação em estufa a 105 °C até massa constante [4].

O teor de lipídeos foi determinado em aparelho Soxhlet [5], utilizando hexano como solvente orgânico.

A atividade da lipase foi determinada segundo o protocolo descrito por laderoza *et al.*, (1991) [6]. Foram estabelecidas algumas modificações para as amostras de macaúba. O extrato enzimático bruto foi distribuído em tubos de ensaios e acrescentou-se 5 mL de emulsão de triacetina (25% de triacetina / 75% de solução de goma de arábica 7%), mais 2 mL de tampão Tris-HCl 0,1 M pH 8,0. Adicionou-se 1 mL da solução enzimática, incubou-a em banho-maria sob agitação de 27°C/30min. A reação foi paralisada com 20 mL de solução acetona/etanol (1:1) em volume, a seguir adicionaram-se de 2-3 gotas de solução 0,5% de fenolftaleína em etanol e procedeu-se a titulação com solução NaOH 0,05 N padronizado. O teor de proteínas solúveis nos extratos brutos, empregado para calcular a atividade específica de lipase foi obtida pela dosagem de proteína através das leituras de absorvância em 260 e 270 nm do extrato bruto de lipase. Sendo que uma unidade de atividade de lipase (unidades/mg) é definida como a quantidade de enzima que liberou 1 micromol ( $\mu\text{mol}$ ) de ácidos graxos por minuto [6].

Para a determinação da atividade de peroxidase, foi adotado o método descrito por Fatibello Filho *et al.*, (2002) [7], medindo-se a variação de absorvância em 470 nm do tetraguaiacol formado na reação enzimática. Nessa determinação foram usados 0,50 mL do extrato bruto de peroxidase, 1 mL da solução guaiacol 50 mM, 1 mL da solução de peróxido de hidrogênio 15 mmol L<sup>-1</sup> e 1 mL de tampão Tris HCl 0,1 (pH 6,5). Uma unidade de atividade (unidades/mL) é definida como a quantidade de enzima que causa o aumento de 0,001 unidades de absorvância por minuto nas condições supramencionadas. A determinação da atividade específica da peroxidase. O teor de proteínas solúveis nos extratos brutos, empregado para calcular a

atividade específica da peroxidase foi obtida pela dosagem de proteína através das leituras de absorvância em 260 e 270nm do extrato bruto de peroxidase, expressa em U/mg [7].

#### Análises químicas do óleo

A fração lipídica foi extraída sob agitação, utilizando Éter de petróleo, até a completa extração. A separação do solvente/óleo foi feita em evaporador rotatório a 40 °C. O óleo bruto obtido foi armazenado a -20 °C para posteriores análises.

As determinações do índice de acidez e peróxido foram realizadas conforme o método descrito pela AOCS [8].

As Absortividades molar em 232 nm e 270 nm foram obtidas em espectrofotômetro Aquamate, modelo v.4,55, pelo método IUPAC (1979) [9], utilizando isoctano grau UV/HPLC. Estas medidas são indicadoras da formação de compostos primários e secundários de oxidação dos óleos, respectivamente.

A análise do teor de carotenóides totais no óleo foi realizada através da leitura das amostras no espectro visível a 450 nm (Marca Aquamate, modelo v. 4,55) utilizando éter de petróleo como solvente orgânico [10].

O perfil de ácidos graxos do óleo de polpa de macaúba foi determinado em cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (Marca Agilent Technologies, Modelo 6890 N). Os ésteres metílicos de ácidos graxos, produzido com o catalisador trifluoreto de Boro (BF<sub>3</sub>), foram avaliados sob as seguintes condições: temperatura do injetor de 225 °C; temperatura do detector de 285 °C; temperatura da coluna (HP-88 100 m x 0,250 mm) de 160 °C inicial por 3 minutos, rampa de 3 °C/min até 190 °C por 6 minutos e rampa de 6 °C/min até temperatura final de 230 °C por 12 minutos. O tempo total da corrida foi de 37,67 minutos, razão de split 100:1, fluxo de gás hidrogênio 40 mL/min, fluxo de ar sintético 450 mL/min, fluxo de gás hélio 40 mL/min, volume de injeção 1 µL. A identificação dos ácidos graxos foi realizada através da comparação do tempo relativo dos picos existentes na amostra com o tempo relativo dos ésteres metílicos de ácidos graxos de padrão mix (C8-C22, Supelco). O tempo de retenção relativo foi calculado através da contaminação

das amostras e do padrão mix com um padrão interno (Undecanoato de Metila). A proporção dos ésteres metílicos foi determinada através da integração das áreas dos picos.

### Delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 10 repetições em cada região. Este estudo teve como variável independente as partes do cacho, apical, mediana e distal. As análises químicas e bioquímicas foram realizadas em triplicata, com exceção do perfil de ácidos graxos que foi determinado em duplicata. Os resultados foram submetidos à análise de comparação de médias, por meio do programa Graphpad InStat.

### Resultados e Discussão

Os valores dos parâmetros biométricos dos frutos de macaúba do bioma Cerrado e Pantanal divergiram entre si (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Parâmetros biométricos nas porções apical, mediana e distal do cacho de frutos de macaúbas nativas dos biomas Cerrado (Dourados) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul.

Bioma	Partes do cacho	Peso (g)	Epicarpo (%)	Mesocarpo (%)	Endocarpo (%)	Amêndoa (%)
<b>Itaum</b>						
<b>Cerrado</b>	<b>Apical</b>	20,5 <sup>ns</sup> ±0,4	11,5 <sup>ns</sup> ±0,3	55,2 <sup>ns</sup> ±1,5	18,4 <sup>ns</sup> ±0,6	3,9 <sup>ns</sup> ±0,1
	<b>Mediana</b>	20,7 <sup>ns</sup> ±0,3	11,2 <sup>ns</sup> ±0,2	54,5 <sup>ns</sup> ±0,9	18,2 <sup>ns</sup> ±0,3	3,9 <sup>ns</sup> ±0,1
	<b>Distal</b>	20,0 <sup>ns</sup> ±0,3	10,9 <sup>ns</sup> ±0,2	52,7 <sup>ns</sup> ±0,9	17,6 <sup>ns</sup> ±0,3	3,7 <sup>ns</sup> ±0,1
	<b>Média</b>	20,4	11,2	54,13	54,2	3,83
	<b>CV (%)</b>	17,2	21,1	21,1	22,0	21,1
<b>Corumbá</b>						
<b>Pantanal</b>	<b>Apical</b>	16,6 <sup>ns</sup> ±0,4	17,4 <sup>ns</sup> ±0,3	52,9 <sup>ns</sup> ±0,6	23,3 <sup>ns</sup> ±0,3	6,3 <sup>ns</sup> ±0,2
	<b>Mediana</b>	15,9 <sup>ns</sup> ±0,4	18,0 <sup>ns</sup> ±0,3	51,7 <sup>ns</sup> ±0,6	23,6 <sup>ns</sup> ±0,3	6,8 <sup>ns</sup> ±0,2
	<b>Distal</b>	15,2 <sup>ns</sup> ±0,4	17,4 <sup>ns</sup> ±0,3	50,0 <sup>ns</sup> ±1,0	23,2 <sup>ns</sup> ±0,5	7,0 <sup>ns</sup> ±0,2
	<b>Média</b>	15,9	17,6	51,53	23,36	6,7
	<b>CV (%)</b>	23,2	15,1	10,9	10,4	27,9

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey (P<0,005)

Frutos do Cerrado apresentaram tendência de ter maior massa, no entanto, o diâmetro horizontal é próximo entre eles. Proporções mais elevadas

de epicarpo, endocarpo e amêndoas foram observadas nos frutos do bioma Pantanal.

No entanto, entre as partes do cacho não foram detectadas diferenças para nenhum dos parâmetros avaliados em ambos os biomas (Tabelas 1 e 2).

Em pesquisa realizada no bioma Cerrado Ciconini et al (2013) [1] encontraram valores semelhantes aos observados no distrito de Itaum, município de Dourados - MS (Cerrado).

Tabela 2. Diâmetros de frutos inteiros e coquinho de macaúba em porções do cacho nos biomas Cerrado (Dourados) e Pantanal (Corumbá) do estado de Mato Grosso do Sul.

Partes do cacho	Fruto inteiro		Coquinho*		Fruto inteiro		Coquinho	
	maior**	menor***	maior	menor	maior	menor	maior	menor
Apical	32,3 <sup>ns</sup>	31,0 <sup>ns</sup>	18,2 <sup>ns</sup>	17,9 <sup>ns</sup>	31,2 <sup>ns</sup>	30,0 <sup>ns</sup>	19,2 <sup>ns</sup>	18,3 <sup>ns</sup>
	±0,9 <sup>ns</sup>	±0,9 <sup>ns</sup>	±0,5 <sup>ns</sup>	±0,59 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>	±0,1 <sup>ns</sup>
Mediana	31,7 <sup>ns</sup>	30,4 <sup>ns</sup>	17,9 <sup>ns</sup>	17,6 <sup>ns</sup>	30,9 <sup>ns</sup>	29,6 <sup>ns</sup>	18,9 <sup>ns</sup>	18,1 <sup>ns</sup>
	±0,6 <sup>ns</sup>	±0,5 <sup>ns</sup>	±0,4 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>	±0,1 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>
Distal	30,9 <sup>ns</sup>	29,6 <sup>ns</sup>	17,4 <sup>ns</sup>	17,2 <sup>ns</sup>	30,5 <sup>ns</sup>	29,3 <sup>ns</sup>	19,1 <sup>ns</sup>	18,4 <sup>ns</sup>
	0,5 <sup>ns</sup>	±0,5 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,3 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>	±0,2 <sup>ns</sup>
CV (%)	31,63	30,33	17,83	17,56	30,86	29,63	19,06	54,8
média±erro padrão	21,1	21,1	21,1	21,1	8,9	1,8	8,1	8,1

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey (P<0,005)

\*coquinho (endocarpo + amêndoa)

\*\* diâmetro maior (horizontal)

\*\*\* diâmetro menor (vertical)

Os frutos foram colhidos de plantas localizadas em áreas bastante homogêneas dentro de cada bioma. Portanto, as diferenças fenotípicas provavelmente refletem a diversidade genômica desta espécie. Para programas de melhoramento, essa ampla base genética, representa um excelente potencial a ser explorado na busca por indivíduos com características agrônômicas e industriais desejáveis.

O teor de água na polpa variou entre 52 e 63% entre as palmeiras e partes dos cachos avaliados (Tabela 03). Os teores mais elevados foram observados no bioma Pantanal, enquanto que no bioma Cerrado foram encontrados os menores. Ramos *et al.* (2008) [10] trabalhando com amostras compostas indicou valor de umidade média para frutos de macaúba coletados no estado de Mato Grosso do Sul em cerca de 52,99%.

A polpa da macaúba apresentou mínima variação de 26 a 28% no teor de lipídios em base seca. Hiane *et al.* (1992) [11] e Ramos *et al.* (2008) [10]

reportaram, respectivamente, teores de lipídeos em base úmida de 16,50% e de 8,14% em frutos também obtidos no estado de Mato Grosso do Sul. Convertendo o conteúdo de lipídeos para base úmida, têm-se em média nos frutos avaliados neste trabalho valores de 16% no bioma Cerrado e 13% no bioma Pantanal.

Tabela 3. Umidade e teor de lipídeos na polpa de frutos de macaúba em porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá) do estado de Mato Grosso do Sul.

Partes do cacho	Umidade (%)		Lipídeos (base seca %)	
	Cerrado	Pantanal	Cerrado	Pantanal
<b>Apical</b>	53,6 <sup>ns</sup> ±1,3	61,8 <sup>ns</sup> ±0,7	28,2 <sup>ns</sup> ±1,2	26,6 <sup>ns</sup> ±1,4
<b>Mediana</b>	52,9 <sup>ns</sup> ±1,4	63,0 <sup>ns</sup> ±0,7	27,6 <sup>ns</sup> ±1,3	27,4 <sup>ns</sup> ±1,5
<b>Distal</b>	53,8 <sup>ns</sup> ±1,4	62,0 <sup>ns</sup> ±0,6	27,2 <sup>ns</sup> ±1,1	26,9 <sup>ns</sup> ±1,3
<b>Média</b>	36,28	62,29	27,68	27,05
<b>CV (%)</b>	14,1	6,4	24,8	29,1

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey ( $P < 0,005$ )

Assim como a umidade, o teor de lipídeos apresentou-se bastante homogêneo entre as partes do cacho (Tabela 3). Esta informação contradiz as observações empíricas de que o óleo seria acumulado inicialmente nos frutos da região distal por serem os primeiros a sofrer abscisão e aponta a possibilidade de realizar a colheita do cacho inteiro.

A atividade bioquímica foi investigada somente no bioma Cerrado. As atividades de lipase e peroxidase apresentaram similaridade entre as partes do cacho (Tabela 04), corroborando para demonstrar a uniformidade fisiológica na maturação dos frutos de macaúba.

Tabela 04. Atividade enzimática na polpa dos frutos de macaúba em porções do cacho no bioma Cerrado (Itaum) do estado de Mato Grosso do Sul.

Partes do cacho	Atividade enzimática específica	
	Lipase*	Peroxidase**
Apical	0,9 <sup>ns</sup> ±0,1	1614,9 <sup>ns</sup> ±79,8
Mediana	0,9 <sup>ns</sup> ±0,1	162,15 <sup>ns</sup> ±85,3
Distal	0,91 <sup>ns</sup> ±0,5	1628,68 <sup>ns</sup> ±83,8
Média	0,90	1623,94
CV (%)	28,4	27,6

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey (P<0,005)

\* Uma unidade de atividade de lipase (unidades/mg) é definida como a quantidade de enzima que liberou 1 micromol (µmol) de ácidos graxos por minuto.

\*\* Uma unidade de atividade específica (unidades/mL/mg) é definida como a quantidade de enzima que causa o aumento de 0,001 unidades de absorvância por minuto por mg de proteína nas condições do ensaio.

A boa qualidade intrínseca do óleo de polpa dos frutos coletados diretamente no cacho foi evidenciada pela baixa acidez e ausência de peróxidos nos frutos avaliados (Tabela 05). O óleo das palmeiras de Itaum apresentou menor acidez, de maneira geral, do que os extraídos das plantas de Corumbá. O maior conteúdo de água existente nos frutos de Corumbá (Tabela 03), pode ter contribuído para favorecer a hidrosilose dos triacilgliceróis aumentando os ácidos graxos livres.

Apesar da atividade da peroxidase, não se observou a formação de peróxidos. Provavelmente, a integridade dos frutos, promovida pela coleta cuidadosa do cacho, não permitiu a entrada de oxigênio, tampouco alterou a compartimentalização de organelas e estruturas celulares que pudessem permitir que enzima e substrato reagissem.

Tabela 05. Acidez e índice de peróxidos em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul.

Partes do cacho	Acidez (%) ácido oleico	
	Cerrado	Pantanal
Apical	0,47 <sup>ns</sup> ±0,05	0,07 <sup>ns</sup> ±0,0
Mediana	0,52 <sup>ns</sup> ±0,06	0,06 <sup>ns</sup> ±0,01
Distal	0,56 <sup>ns</sup> ±0,59	0,08 <sup>ns</sup> ±0,01
Média	0,52	0,07
CV (%)	31,4	31,2

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey (P<0,005)

As absorptividades molares em 232 e 270 nm são indicadores da formação de compostos de degradação primários e secundários por via oxidativa em óleos, respectivamente. Estes valores também variam conforme a fonte de óleo. Apesar de não haver legislação específica para óleo de macaúba, como referência para estes parâmetros pode-se citar o padrão para oliva extra virgem da ANVISA, a qual estabelece os limites de  $\leq 2,50$  (232 nm) e  $\leq 0,20$  (268 nm) [12]. Todos os valores para absorptividade a 232 nm foram inferiores a 2,50 (Tabela 06). Em Itaum houve diferença entre as partes do cacho, sendo a parte apical a com maior valor (1,86 nm). As absorptividades em 270 nm, com exceção da parte mediana e distal de Itaum, foram superiores a 0,20 (Tabela 06). Na região de Cerrado houve diferença entre as partes do cacho, sendo a parte apical superior às demais (0,29). Não se pode afirmar que a absorptividade molar a 270 nm denote degradação do óleo, uma vez que não existem, ainda, estudos para estabelecer este parâmetro para macaúba.

Tabela 06. Absorptividades molares e teor de carotenóides em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul.

Partes do cacho	Absorptividade Molar		Absorptividade Molar		Carotenóides Totais	
	232 nm	270 nm	232 nm	270nm	( $\mu\text{g/g}$ óleo)	
	Cerrado		Pantanal		Cerrado	Pantanal
Apical	1,8 $\pm$ 0,1A	0,2 $\pm$ 0,1A	1,7 <sup>ns</sup> $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ <sup>ns</sup> 0,0	279,0 <sup>ns</sup> $\pm$ 13,4	359,9 <sup>ns</sup> $\pm$ 21,0
Mediana	1,7 $\pm$ 0,1B	0,1 $\pm$ 0,1AB	1,7 <sup>ns</sup> $\pm$ 0,1	0,3 <sup>ns</sup> $\pm$ 0,0	291,0 <sup>ns</sup> $\pm$ 17,0	336,0 <sup>ns</sup> $\pm$ 23,6
Distal	1,6 $\pm$ 0,1C	0,1 $\pm$ 0,0 AB	1,6 <sup>ns</sup> $\pm$ 0,1	0,3 <sup>ns</sup> $\pm$ 0,0	272,4 <sup>ns</sup> $\pm$ 10,8	363,8 <sup>ns</sup> $\pm$ 24,8
Média	1,76	0,20	1,72	0,37	280,86	353,26
CV (%)	16,3	40,5	25,3	34,3	27,2	37,1

média $\pm$ erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey ( $P < 0,005$ )

Letras distintas na coluna indicam diferença significativa pelo teste de Tukey

O conteúdo de carotenóides apresentou-se uniforme nos frutos independentemente da parte do cacho. Mas, variável entre as palmeiras de ocorrência nas duas localidades investigadas (Tabela 06). Frutos do Pantanal apresentaram concentração mais elevada de carotenóides totais do que aqueles coletados na região de Cerrado.

O ácido oleico é o ácido graxo mais abundante no óleo de polpa de macaúba, seguido pelo palmítico (Tabela 07). De maneira geral, a proporção de ácido oleico foi maior nos genótipos amostrados no Pantanal. A composição do óleo de polpa em ácidos graxos não variou entre as partes do cacho (Tabela 07).



Tabela 07. Perfil de ácidos graxos em óleo da polpa de frutos de macaúba extraído em diferentes porções do cacho, nos biomas Cerrado (Itaum) e Pantanal (Corumbá), estado de Mato Grosso do Sul.

	Ácidos graxos (%)					
	Cerrado			Pantanal		
	Oleico	Palmítico	Estearico	Oleico	Palmítico	Estearico
<b>Apical</b>	64,4±1,2	21,9±0,7	2,64±0,2	70,9±1,1	15,5±0,5	3,2±0,3
<b>Mediana</b>	65,1±1,1	21,2±0,6	2,42±0,2	72,8±1,1	14,8±0,6	3,1±0,3
<b>Apical</b>	65,0±1,1	21,6±0,6	2,33±0,2	73,5±1,1	14,9±0,7	3,1±0,3
<b>Média</b>	64,85	21,65	2,45	72,43	15,08	3,21
CV (%)	7,7	14,2	39,4	7,3	18,8	51,1

média±erro padrão

ns - não significativo dentro de cada bioma pelo teste de Tukey (P<0,005)

Fisiológica e fisicamente os frutos de macaúba, nos dois biomas estudados, apresentaram características que denotam similaridade de desenvolvimento e maturação em todo o cacho. A colheita poderia ser realizada numa única operação, retirando-se o cacho inteiro. No entanto, deve-se ainda, avaliar a uniformidade entre os cachos de uma mesma planta e o balanço econômico desta operação para se chegar à recomendação final de um sistema de colheita para macaúba.

### Conclusão

Os frutos de macaúba estudados, tanto no bioma Pantanal quanto Cerrado, apresentam uniformidade de desenvolvimento nos aspectos físicos, químicos e bioquímicos em todo o cacho.

A colheita poderá ser realizada retirando-se o cacho inteiro garantindo-se as mesmas quantidades e qualidades do óleo de polpa de macaúba para todos os frutos.

### Referências

1. Ciconini, G; Favaro, S. P.; Roscoe, R.; Miranda, C. h. b.; Tapeti, C. F.; Miyahira, M. A. M.; Bearari, L.; Galvani, F.; Borsato, A. V.; Conalga, L. A.; Naka, M.H (2013). Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Industrial Crops and Products*, 45: 208– 214.
2. Lorenzi, G. M. A. C. (2006). *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. - *Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável*. Dissertação (Doutorado em Ciências). 166p. Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR.

3. Hiane, P. A.; Penteadó, M. V. C (1980). Carotenóides de valores de vitamina A do fruto e da farinha de bocaiúva (*Acrocomia mokayayba* Barb. Rodr.) do Estado do Mato Grosso do Sul. *Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo*, São Paulo, 25:158-168.
4. AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (18 ed.). Maryland: Gaithersburg.
5. Instituto Adolfo Lutz (1985). Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed. São Paulo: Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 1:553..
6. Iadéroza, M.; Baldini, V. L. S. A (1991). Importância da análise enzimática em alimentos. In: Iadéroza, M; Baldini, V. L. S. Enzimas e a qualidade de vegetais processados. Campinas: ITAL, 1991. (Manual Técnico).
7. Fatibello-filho, O. V.; Cruz, I (2002). Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. *Química Nova*, 25 (3): 455-464.
8. A.O.C.S. - American Oil Chemists' Society (1983). *Official and tentative methods*. 3a, ed. Champaign.
9. IUPAC. (1979). International Union of Pure and Applied Chemistry. *Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives*. (6ed.) Oxford: IUPAC.
10. Ramos, M. I. L.; Ramos Filho, M. M.; Hiane. P. A.; Braga Neto. J. A.; Siqueira. E. M. A. S. (2008). Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28: 90 - 94.
11. Hiane, P. A. (1992). Composição Centesimal e perfil de ácidos graxos de alguns frutos nativos do Estado de Mato Grosso do Sul. *Boletim CEPPA*, 10: 35 - 42.
12. BRASIL (2005), ANVISA, Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal [Technical Regulation for vegetable oils, fats and shortenings] Resolução n. 270, de 22 de setembro de 2005, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Diário Oficial da União, 23 de setembro de 2005, p. 2134. Brasília, Brasil.