

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos
biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do
Sul, Brasil**

Autora: Gabrielly Ciconini
Orientadora: Dra. Simone Palma Favaro
Co-orientador: Dr. Renato Roscoe

Campo Grande
Mato Grosso do Sul
Fevereiro - 2012

UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA

**Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos
biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do
Sul, Brasil**

Autora: Gabrielly Ciconini
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 Saúde”

Campo Grande
Mato Grosso do Sul
Fevereiro – 2012

Ficha catalográfica

Ciconini, Gabrielly
C568c Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos
biomas cerrado
e pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil./ Gabrielly
Ciconini;
orientação, Simone Palma Favaro. 2011
128 f.

Dissertação (mestrado em biotecnologia) – Universidade
Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.

1. Biotecnologia 2. Óleo de macaúba 3. Macaúba – Qualidade
nutricional I. Favaro, Simone Palma II. Título

CDD – 665.3

Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil

Autora: Gabrielly Ciconini

Orientadora: Prof^a Dr^a Simone Palma Favaro

Co-orientador: Prof. Dr. Renato Roscoe

TITULAÇÃO: Mestre em Biotecnologia – Área de concentração: Biotecnologia Aplicada à Saúde.


APROVADA em 25 de fevereiro de 2012.



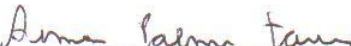
Profª Drª Priscila Aiko Hiane - UEMS



Prof. Dr. Sérgio Yoshimitsu Motoike – UFV



Prof. Dr. Renato Roscoe – FUNDAÇÃO MS
(co-orientador)



Profª Drª Simone Palma Favaro – UCDB
(orientadora)

*Aos meus pais, Gabriel e Marlene,
que sempre me apoiaram e não
mediram esforços para que este
sonho se tornasse realidade.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me presentear com o dom da vida, da saúde, e por fortalecer-me com as virtudes da perseverança e da fé, as quais me motivaram para a conclusão dessa jornada.

Aos meus pais, Gabriel e Marlene, que com muita paciência e carinho fizeram de tudo para que eu pudesse ter uma boa educação e continuar com os estudos me especializando cada vez mais.

Aos meus irmãos, Thays e Luís Eduardo, pelo apoio e carinho.

Ao meu namorado, Ronyson, companheiro de todos os momentos, sempre me incentivando, ajudando e não me deixando desistir.

À Prof^a Dra. Simone, que mais que minha orientadora, foi oras minha amiga oras minha mãe. Serei eternamente grata pelos ensinamentos, paciência, confiança, carinho, dedicação, incentivo e principalmente por acreditar que eu era capaz. Obrigada por me acolher com tanto amor na sua sala e às vezes até na sua casa para discutirmos e melhorar cada vez mais este trabalho.

Ao meu co-orientador Renato Roscoe, pelos ensinamentos e paciência.

À Maria Amélia, que durante a faculdade de farmácia se tornou colega, na pós-graduação amiga e no mestrado irmã. Obrigada minha querida pelos conselhos, pelo carinho, pelas risadas, pelas horas ao telefone e pela sua amizade sincera.

À Críssia Fernada Tapetí de Souza, uma pessoa querida que Deus colocou em meu caminho para tornar os meus dias no laboratório mais florido. Obrigada por ter me acolhido quando entrei no mestrado, pelos ensinamentos e pela amizade construída.

Aos amigos que conquistei ao longo desta caminhada, Ângela, Gabriel, Jaice, Lucas, Márcio, Maria Helena, Zizelina, e a todos os colegas de mestrado pela amizade e por terem estendido a mão quando precisei.

À Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, pela acolhida.

A Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect) pela bolsa concedida.

À Embrapa Pantanal pelo auxílio na coleta dos frutos de macaúba.

À Embrapa Instrumentação por fornecer a possibilidade da realização da técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN).

E a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA DO AUTOR

Gabrielly Ciconini, filha de Idalino Gabriel Ciconini e Marlene Salvi Ciconini, nasceu em Campo Grande, Mato Grosso do Sul em 03 de junho de 1987.

Em dezembro de 2007 concluiu o curso de Farmácia pela Universidade Católica Dom Bosco.

Em julho de 2009 obteve o curso de especialista em Farmacologia pelo Conselho Regional de Farmácia em parceria com a Somay.

Em fevereiro de 2010 iniciou o Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, em nível de Mestrado, na Universidade Católica Dom Bosco, realizando estudos na área de tecnologia de alimentos.

No dia 25 de fevereiro de 2012 submeteu-se à banca para defesa da Dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE EQUAÇÕES	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT	xix

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 Biomas: Cerrado e Pantanal	3
2.2 Óleos Vegetais	4
2.2.1 Estabilidade oxidativa dos óleos.....	14
2.2.2 Demanda de óleo	17
2.3 <i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex. Mart	20
2.3.1 Distribuição Geográfica.....	22
2.3.2 Características Gerais	23
2.3.3 Utilidades da palmeira macaúba.....	28
2.3.4 Polpa da Macaúba.....	29
2.3.5 Óleo de polpa de Macaúba.....	33
2.3.6 Cultivo Racional de Macaúba	37
2.4 Métodos analíticos de características físico-químicas de óleos	38

3. OBJETIVOS	46
3.1 Objetivo Geral.....	46
3.2 Objetivos Específicos (Capítulo 2).....	46
3.3 Objetivos Específicos (Capítulo 3).....	47
3.4 Objetivos Específicos (Capítulo 4).....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

CAPÍTULO 2

Teor de lipídeos e biometria de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal em Mato Grosso do Sul, Brasil.....	64
RESUMO.....	64
ABSTRACT	65
1. Introdução.....	66
2. Material e métodos	67
3. Resultados e Discussão	70
4. Conclusão.....	83
Referências Bibliográficas	84

CAPÍTULO 3

Variabilidade físico-química do óleo de polpa de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.....	88
RESUMO.....	88
ABSTRACT	89
1. Introdução.....	90
2. Material e métodos	91
3. Resultados e discussão	94
4. Conclusão.....	101
Referências Bibliográficas	101

CAPÍTULO 4

Qualidade nutricional e propriedades térmicas do óleo de polpa de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil	106
RESUMO.....	106
ABSTRACT	107
1. Introdução.....	108
2. Material e métodos	109
3. Resultados e Discussão	111
.....	119
4. Conclusão	121
Referências Bibliográficas.....	122
CONSIDERAÇÕES FINAIS	127

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1

Quadro 1. Ácidos Graxos.	9
Quadro 2. Composição de ácidos graxos e ponto de fusão do óleo de oliva e da manteiga.....	10
Quadro 3. Perfil de ácidos graxos de azeite de oliva, óleo de palma, canola e soja.	10
Quadro 4. Razões adequadas entre ácidos graxos $\omega 6$ e $\omega 3$ indicadas por órgãos regulamentadores.	11
Quadro 5. Uso de distintas partes de <i>Acrocomia aculeata</i>	29
Quadro 6. Composição centesimal da polpa de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>).	30
Quadro 7. Variação na umidade e teor de lipídeos (base úmida) de frutos de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>) coletados no estado de Mato Grosso do Sul.	30
Quadro 8. Teores dos minerais presentes na polpa de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>).....	31
Quadro 9. Características físico-químicas dos óleos de polpa de macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>) de frutos coletados em Mato Grosso do Sul.....	35
Quadro 10. Perfil de ácidos graxos da polpa de macaúba.....	36
Quadro 11. Escala de cores do colorímetro Lovibond.....	41

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Características biométricas e de produção de macaúba de ocorrência nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.....	72
Tabela 2. Biometria e porção relativa de epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa em relação aos frutos inteiros de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	75
Tabela 3. Correlação de Pearson entre parâmetros biométricos e porções relativas dos frutos de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.....	76
Tabela 4. Umidade na polpa e amêndoa de macaúba, coletados em quatro regiões distintas do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	77
Tabela 5. Teor de óleo (base seca) na polpa e amêndoa de macaúba coletados em quatro regiões distintas do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	78
Tabela 6. Correlação de Pearson entre teor de lipídeos da polpa e amêndoa de frutos de macaúba com parâmetros biométricos de frutos provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil.	79
Tabela 7. Estimativa teórica de produção de óleo de polpa e amêndoa (extração por solvente) de frutos de macaúba (base seca) coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, em diferentes densidades populacionais.	81

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Escala de cores do colorímetro Lovibond.....	94
Tabela 2. Umidade e teor de lipídeos (base seca) da polpa de frutos de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	95
Tabela 3. Características físico-químicas do óleo da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	97

Tabela 4. Carotenóides totais, β -caroteno, retinol equivalente e coloração em óleos de polpa de macaúba provenientes de frutos dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	100
---	-----

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do óleo da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal de MS, Brasil.	113
---	-----

Tabela 2. Qualidade nutricional da fração lipídica da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	115
--	-----

Tabela 3. Termogravimetria (TG) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) de óleo de polpa de frutos de macaúba provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.	118
--	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Biomas do Brasil	4
Figura 2. Formação de um triacilglicerol por reação de esterificação entre três moléculas de ácidos graxos e uma de glicerol	5
Figura 3. Triacilglicerol misto.....	6
Figura 4. Ácido Graxo	6
Figura 5. Ácido graxo saturado (C18:0) (A); Ácido graxo insaturado (C18:1) (B).....	7
Figura 6. Nomenclatura IUPAC (A); Nomenclatura Ômega (B).....	8
Figura 7. Representação da reação de hidrogenação do ácido oléico.....	12
Figura 8. Reação de rancificação hidrolítica	15
Figura 9. Mecanismo geral de oxidação lipídica.....	16
Figura 10. Consumo mundial de óleos e gorduras.....	17
Figura 11. Produção brasileira de oleaginosas nas últimas duas décadas	18
Figura 12. Produção (milhões de tonelada) dos óleos de palma, soja, canola e girassol entre os anos de 1994/95 a 2010/2011.....	19
Figura 13. Demanda mundial de óleo para consumo humano e biodiesel	20
Figura 14. <i>Acrocomia aculeata</i>	21
Figura 15. Regiões com maior ocorrência da espécie <i>Acrocomia aculeata</i>	22
Figura 16. Distribuição da Macaúba no Brasil.....	23
Figura 17. Tronco da macaúba com (A) e sem (B) espinhos	24
Figura 18. Vista geral da copa da palmeira (A); Folha da Macaúba (B)	24
Figura 19. Inflorescência de macaúba protegida pela espata	25
Figura 20. Inflorescência em formação (A); Flores de Macaúba (B)	26
Figura 21. Cacho com frutos de macaúba (A) e (B)	27

Figura 22. Frutos maduros de macaúba (A); Fruto com e sem epicarpo (B); Coquinho (Endocarpo + Amêndoa) (C); Fruto de macaúba cortado ao meio evidenciando todas as partes do fruto (D); Amêndoas (E).....	27
Figura 23. Alguns dos diversos carotenóides existentes.....	32
Figura 24. Óleo bruto da polpa de macaúba	34
Figura 25. Macaúba em consórcio com gergelim (A); Macaúba e pastagem (B)	38
Figura 26. Sistema cromatográfico básico	42

CAPÍTULO 2

Figura 1. Regiões de coleta de frutos de macaúba nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil	68
Figura 2. Aspectos de estipes de macaúba. Estipe com (A) e sem espinhos (B)	71
Figura 3. Distribuição de massa do fruto inteiro de macaúba de ocorrência nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.....	73
Figura 4. Estimativa de rendimento de produtos e co-produtos do fruto de macaúba/ha, considerando cultivo de 1000 plantas/ha e 70% de rendimento de extração mecânica dos óleos, em populações de ocorrência natural em diferentes regiões do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. (BS = Base Seca).....	82

CAPÍTULO 4

Figura 1. Curva de Termogravimetria e Derivada da Termogravimetria (TG/DTG) do óleo de polpa de macaúba em rampa de aquecimento, com razão de 20 °C/min, em atmosfera de ar sintético com fluxo de 100 mL/min na faixa de 20 a 700 °C.....	117
Figura 2. Curva Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) do óleo de polpa de macaúba em rampa de aquecimento, com razão de 20 °C/min, em atmosfera de ar sintético com fluxo de 100 mL/min na faixa de 20 a 700 °C.....	120

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO 1

Equação 1. Cálculo de carotenóides totais	40
Equação 2. Cálculo do índice de aterogenicidade	43
Equação 3. Índice de trombogenicidade	43
Equação 4. Razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos	44

CAPÍTULO 2

Equação 1. Cálculo do total de frutos por árvore de macaúba.....	69
Equação 2. Cálculo da massa total de frutos por árvore de macaúba	69
Equação 3. Cálculo do rendimento de óleo de polpa de macaúba	70
Equação 4. Cálculo do rendimento de óleo de amêndoa de macaúba	70

CAPÍTULO 3

Equação 1. Cálculo de carotenóides totais	93
---	----

CAPÍTULO 4

Equação 1. Índice de aterogenicidade	110
Equação 2. Índice de trombogenicidade	110
Equação 3. Razão ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos ...	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μL – Microlitro

AGMI - Ácidos Graxos Monoinsaturados

AQ - Aquidauana

BF_3 - Trifluoreto de Boro

BHA - Butil-hidroxi-anisol

BHT - Butil-hidroxi-tolueno

CG – Campo Grande

CLAE – Cromatografia líquida de alta eficiência

cm – Centímetro

CO - Corumbá

CO_2 – Dióxido de Carbono

DHA - Ácido docosahexaenóico

DPA – Ácido docosapentaenóico

DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial

DTG – Termogravimetria Derivada

EPA – Ácido eicosapentaenóico

EPM – Erro Padrão da Média

g – Gramas

GPS – Global Positioning System

H/H - Razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

ha – Hectare

HDL – Lipoproteínas de alta densidade

HPLC – High Performance Liquid Chromatography

IA - Índice de aterogenicidade

IDR – Ingestão Diária Recomendada

IT- Índice de trombogenicidade

Kcal - Quilocalorias

Kg – Kilo

LDL – Lipoproteínas de baixa densidade

m – Metro
mg - Miligrama
Min – Minuto
mL – Mililitros
Mm – Milímetro
MS – Mato Grosso do Sul
Ni – Níquel
nm – Nanômetro
Nº - Número
°C – Grau celsius
PG - Propil galato
RDI – Recommended dietary intakes
RE – Retinol Equivalente
RMN – Ressonância Magnética Nuclear
SG – São Gabriel do Oeste
TBHQ - Terc-butil-hidroquinona
Tf – Temperatura Final
TG – Termogravimetria
Ti – Temperatura Inicial
UV - Ultravioleta
 ω – Ômega

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar populações de macaúba, nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, quanto às características fenotípicas de frutos e propriedades físico-químicas do óleo extraído da polpa de macaúba. Foram determinados biometria, umidade e teor de lipídeo dos frutos, além de estimativa de rendimento de óleo de polpa e amêndoa de macaúba. Propriedades físico-químicas, térmicas e qualidade nutricional foram avaliadas na fração lipídica da polpa de macaúba. Elevada variabilidade pôde ser observada em todos os parâmetros avaliados. O teor de lipídeos na polpa apresentou valores homogêneos entre as regiões, com média de 25,07% em base seca. No entanto, alta variabilidade foi observada dentro de cada local amostrado. A região de Corumbá caracterizou-se por frutos pequenos com maior porção comestível e óleo na amêndoa. São Gabriel do Oeste demonstrou frutos maiores, porém com menor concentração lipídica. O teor de água variou de 49,06 a 63,00% na polpa e de 15,53 a 20,19% na amêndoa. Entre as regiões amostradas, a estimativa de produção total de óleo (polpa + amêndoa) apresentou máximo de 3915 kg/ha e mínimo de 1780 kg/ha, com plantio de 1000 palmeiras. Macaúbas do estado de Mato Grosso do Sul demonstraram rendimento inferior ao da região de Minas Gerais. O óleo obtido a partir da polpa de macaúba demonstrou excelente qualidade físico-química intrínseca. Elevadas concentrações de carotenóides foram observadas, variando em média de 312,34 µg/g em São Gabriel do Oeste e de 425,50 µg/g em Aquidauana. A coloração vermelha característica do óleo de polpa de macaúba demonstrou tendência de correlação positiva com o teor de carotenóides. O perfil de ácido graxo dos óleos de polpa de macaúba apresentou semelhança ao azeite de oliva, revelando o ácido graxo monoinsaturado oléico como majoritário em todas as regiões. A proporção de ácido oléico variou de 47,05 a 72,59%, com concentração máxima individual de 81,32% na região de Corumbá. Os índices de qualidade nutricional do óleo de polpa de macaúba mostraram-se mais adequados do que óleo de palma e inferior ao azeite de oliva e óleo de soja. A região de Corumbá apresentou a melhor qualidade nutricional, enquanto que São Gabriel do Oeste

demonstrou ser a região que produz óleos com a maior temperatura inicial de oxidação. Os óleos de polpa de macaúba apresentaram estabilidade oxidativa similar ao óleo de oliva e superior ao óleo de soja e girassol.

Palavras-Chave: ácido oléico, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart., variabilidade, carotenóides, qualidade nutricional, estabilidade oxidativa

ABSTRACT

The palmae *Acrocomia aculeata* (macauba), native in the central area of Brazil, has a great potential as an oil source due its high yield and sustainable production system, beyond the desirable features of the pulp and kernel lipids. Considering a rational exploitation of macauba it is utterly important to screen the variability of the characteristics of the fruits in order to settle select areas to collect or more suitable plants to breed or cultivate. This study aimed to evaluate the variability into populations of macaúba palm from Cerrado and Pantanal biomes in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Physical-chemical properties of fruits were assayed, mainly those ones concerned about pulp oil. High variability was observed in all parameters evaluated. The lipid content of the pulp were similar among the regions, with an average of 25.07% on dry basis. On the other hand, the lipid content presented high variability within the sampled areas. The region of Corumbá presented small fruits with higher edible portion and the kernel oil. São Gabriel do Oeste showed larger fruit, but with lower lipid content. The moisture content varied from 49.06 to 63.00% in the pulp and from 15.53 to 20.19% in the kernel. Among the areas sampled, the estimated total yield of oil (pulp + kernel) showed a minimum of 1780 kg/ha and a maximum of 3915 kg/ha, taking into account a plantation with 1000 trees/ha. Macaúbas from the state of Mato Grosso do Sul showed about half oil yield than other reported areas in Brazil. The oil obtained from the pulp showed excellent intrinsic physical and chemical quality. High concentrations of carotenoids were observed, ranging in from 312.34 mg/g in São Gabriel do Oeste and 425.50 mg/g in Aquidauana. The characteristic red color of the macaúba pul oil showed a trend of positive correlation with carotenoids. The fatty acid profile of oil pulp presented a similarity to olive oil, being mainly composed by the monounsaturated fatty acid oleic majority. The proportion of oleic acid ranged from 47.05 to 72.59%, with highest proportion 81.32% observed in a sample from Corumbá. The indexes of nutritional quality of the pulp oil macaúba were more appropriate than palm oil and less than the olive oil and soybean oil. The Corumbá region had the best nutritional quality, while the São Gabriel do Oeste proved to be the region that produces oil with the higher

initial temperature oxidation. The pulp oils showed macaúba oxidative stability similar to olive oil and superior to soybean and sunflower oil.

Keywords: oleic acid, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart., variability, carotenoids, nutritional quality, oxidative stability

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os biomas Cerrado e Pantanal possuem inúmeras espécies nativas com alto potencial para exploração econômica nos setores alimentício, farmacêutico e oleoquímico. A macaúba, palmeira de ampla distribuição nesses dois biomas, pode ser considerada uma das espécies com maior potencial de exploração econômica imediata, devido à elevada produtividade de óleos e aproveitamento total dos co-produtos, além do sistema de cultivo considerado sustentável do ponto de vista ambiental, social e econômico.

Esta palmeira pode ser utilizada para diferentes fins, como as folhas na nutrição animal, os frutos para produção de farinhas e óleos, o endocarpo e casca para biomassa e o endocarpo para carvão ativado. Dos frutos de macaúba pode-se extrair o óleo tanto da polpa quanto da amêndoa. O óleo de polpa da macaúba apresenta coloração laranja intensa devido à presença de carotenóides e contém proporção de ácido graxo monoinsaturado similar ao azeite de oliva. Este perfil de ácido graxo está relacionado diretamente com a redução de doenças cardiovasculares e controle de dislipidemias.

Diversos trabalhos têm sido realizados pelo grupo da Universidade Católica Dom Bosco - Laboratório de Matérias Primas com o óleo da polpa de macaúba. Os resultados, ainda preliminares, têm demonstrado diversas qualidades que podem atender a requisitos importantes para uso medicinal, alimentício e bioenergético. Ensaio em animais indicaram a sua eficiência na redução do LDL-colesterol e aumento do HDL-colesterol, de maneira similar ao azeite de oliva extra-virgem. Altas concentrações de β -caroteno, precursor da vitamina A, foram encontradas no óleo de polpa da macaúba e podem estar associados com a alta estabilidade oxidativa observada. Estas propriedades estimulam ainda mais o direcionamento deste óleo para o consumo humano, embora esse produto seja bem aceito também para a produção de biodiesel e com grande potencial para área cosmética.

Conhecer a diversidade dos metabólitos nas populações de *Acrocomia aculeata*, predominantes no estado de Mato Grosso do Sul, é um passo importante para seleção de frutos e obtenção de óleos com alta qualidade visando futuros

empreendimentos comerciais. A correlação entre parâmetros biométricos de frutos e as características físico-químicas do óleo de polpa fornecerão informações cruciais para programas de melhoramento genético, extrativismo sustentável, cultivos comerciais, desenvolvimento de equipamentos para processamento e direcionamento a aplicações específicas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biomas: Cerrado e Pantanal

Bioma é uma área do espaço geográfico caracterizada pela uniformidade de um macroclima definido, de uma determinada formação vegetal, de uma fauna e outros organismos vivos associados, e de outras condições ambientais, como o solo e alagamentos (Coutinho, 2006). O mapa de biomas do Brasil demonstra o Cerrado como o segundo maior bioma brasileiro, correspondendo a 23,92%, e o Pantanal como o bioma de menor extensão, 1,76% da área total do Brasil (Figura 1) (IBGE, 2004).

A distribuição do Cerrado no Brasil concentra-se nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí e Distrito Federal (Klink & Machado, 2005). Já o bioma Pantanal situa-se em apenas dois estados, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Nunes & Tomas, 2004).

Os biomas, Cerrado e Pantanal, compõem-se de um mosaico vegetacional onde se intercalam formações savânicas lenhosas e campestres, formações florestais e vegetação aquática. Essa diversidade proporciona a ocorrência de grande número de nichos ecológicos de condições diversas, nos quais proliferam variados tipos de vegetação (Felfili, Carvalho & Haidar, 2005). Devido à grande diversidade nas espécies vegetais, o Cerrado e o Pantanal constituem um valioso patrimônio biológico, que pode ser explorado para fins comerciais.

Os solos do Cerrado, considerados pobres em nutrientes, e as inundações periódicas típicas do Pantanal não são obstáculos para o desenvolvimento de diversas populações de plantas nativas (Brasil, 2002; Klink et al., 2005). Inúmeras são as espécies capazes de se adaptar e se desenvolver em biomas com características diferentes.



Figura 1. Biomas do Brasil

Fonte: IBGE (2004)

Atualmente, com a necessidade de conservação, recomposição florestal, maior disponibilização de alimentos e fontes energéticas, existe uma grande demanda por conhecimento científico e desenvolvimento de tecnologias para o uso sustentável de recursos genéticos oriundos das diferentes regiões do Brasil.

2.2 Óleos Vegetais

Os óleos vegetais são substâncias líquidas insolúveis em água (hidrofóbicas), produzidas por muitas plantas oleaginosas e utilizados por vários setores, como na indústria química, farmacêutica, cosmética e de alimentos. Esta matéria prima, também, é uma importante fonte para a produção de biocombustíveis, já que se trata de uma fonte de energia renovável (Guedes, 2006; Silva, 2009).

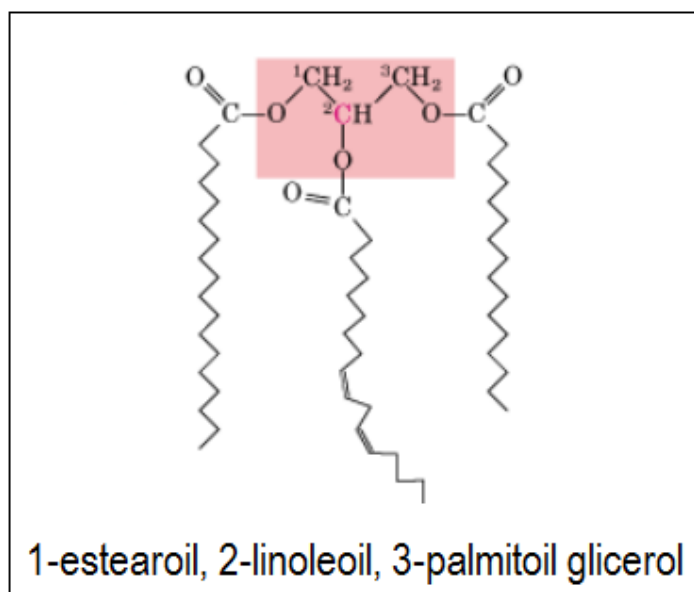


Figura 3. Triacilglicerol misto

Fonte: Nelson et al. (2011)

Os ácidos graxos consistem em uma cadeia hidrocarbonada não ramificada com 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 (Figura 4) (Chape, Harvey & Bolner, 2002).

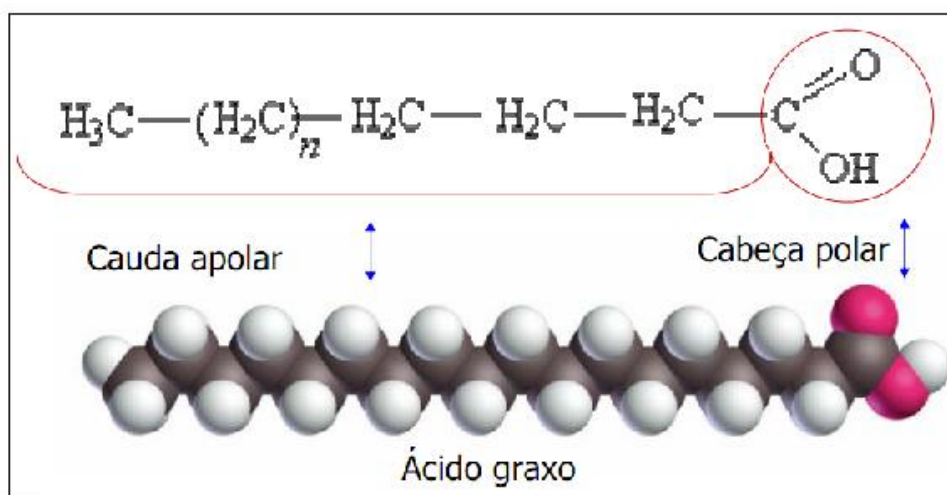


Figura 4. Ácido Graxo

Fonte: Chaves & Mello-Farias (2008)

Os ácidos graxos podem apresentar cadeia totalmente saturada (não contém duplas ligações). Em outros, ligações duplas cis, também chamadas de insaturações, são inseridas pela enzima dessaturase em posições específicas em relação ao grupo carboxila, formando os ácidos graxos insaturados (Figura 5) (Nelson et al., 2011; Scrimgeour, 2005).

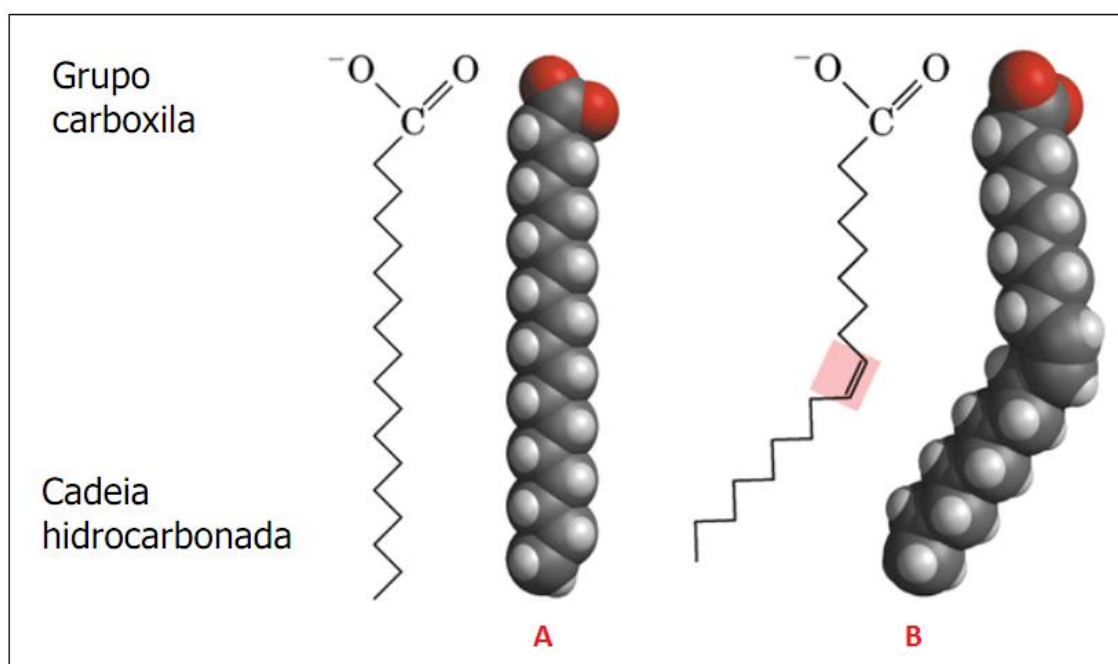


Figura 5. Ácido graxo saturado (C18:0) (A); Ácido graxo insaturado (C18:1) (B)

Fonte: Nelson et al. (2011)

O número de insaturações na cadeia carbônica classifica os ácidos graxos como:

- a) Monoinsaturados: possuem uma insaturação na molécula;
- b) Poliinsaturados: possuem mais de uma insaturação na molécula (Graziola, Solis & Cury, 2002).

Existem diversas nomenclaturas que podem ser aplicadas a ácidos graxos. A nomenclatura sistemática da união internacional de química pura e aplicada (IUPAC, 1979) é realizada especificando a posição das duplas ligações, que são numeradas a partir do ácido carboxílico, antes do nome do ácido graxo. Outra nomenclatura

muito utilizada é a ômega (ω), onde o átomo de carbono adjacente ao carbono carboxílico é designado α , e os carbonos seguintes são nomeados β , γ , δ , etc. O átomo de carbono mais distante do carbono carboxílico é chamado de carbono ω e, a partir dele, as duplas ligações são numeradas. A nomenclatura é expressa pelo número da dupla ligação mais próxima ao carbono ω que precede o nome do ácido graxo (Figura 6) (Quadro 1) (Motta, 2011)

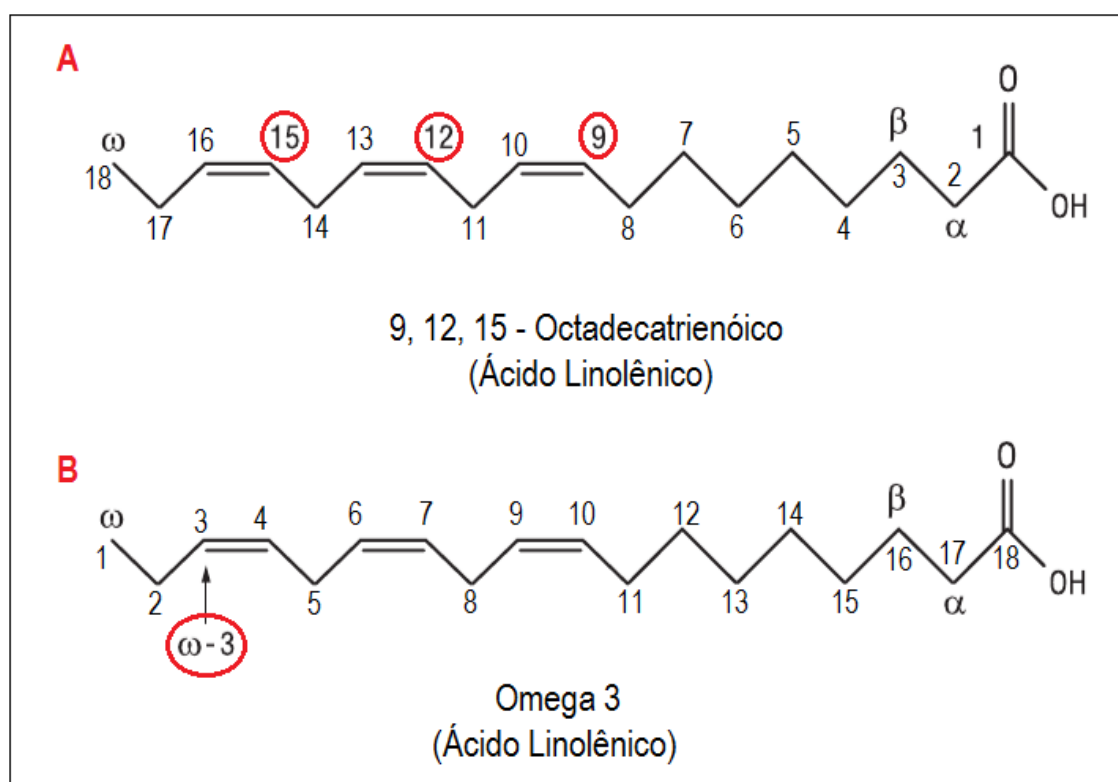


Figura 6. Nomenclatura IUPAC (A); Nomenclatura Ômega (B)

Fonte: Adaptado de Souto & Duarte (2006)

O ponto de fusão designa a temperatura na qual uma substância passa do estado sólido para o estado líquido. Esta propriedade física constitui-se num importante parâmetro para a aplicação industrial de óleos e gorduras. A temperatura de fusão dos óleos e gorduras é definida pelo tamanho da cadeia carbônica e a presença e número de insaturações (Quadro 1).

Quadro 1. Ácidos Graxos.

Símbolo	Nome IUPAC	Nome comum	Fórmula estrutural	T fusão (°C)
4:0	Butanóico	Butírico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	7,9
6:0	Hexanóico	Capróico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	-3,0
8:0	Octanóico	Caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	17,2
10:0	Decanóico	Cáprico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	31,0
12:0	Dodecanóico	Láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	4,2
14:0	Tetradecanóico	Mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	52,0
16:0	Hexadecanico	Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63,1
16:1	9-hexadecenóico	Palmitoléico ($\omega 7$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-0,5
18:0	Octadecanóico	Estearico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69,1
18:1	9- <i>cis</i> octaecenóico	Oléico ($\omega 9$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13,2
18:2	9,12 – Octadecadienóico	Linoléico ($\omega 6$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-9,0
18:3	9,12,15 – Octadecatrienóico	Linolênico ($\omega 3$)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-17,0
20:0	Eicosanóico	Araquídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	75,4
20:1	11 – Eicosanóico	Eicosanóico ($\omega 9$)		
20:4	5,8,11,14 – Eicosatetraenóico	Araquidônico ($\omega 6$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49,5
20:5	5,8,11,14,17- Eicosapentaenoico	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	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	81,0
22:1	13-Docosenoico	Erúico ($\omega 9$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	34,7
22:5	7,10,13,16,19- Docosapentaenoico	($\omega 3$)		
22:6	4,7,10,13,16,19- Docosahexaenoico	Cervônico ($\omega 6$)	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_6\text{CH}_2\text{COOH}$	
24:0	Tetracosanóico	Lignocérico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	84,2
24:1	15-tetracosenóico	Nervônico ($\omega 9$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	42,5

Fonte: Adaptado de Voet, Voet & Pratt (2002); Fennema (2000); Belitz & Grosch (1997)

Os óleos são formados principalmente por ácidos graxos insaturados, que provocam uma diminuição no ponto de fusão, fazendo com que estas substâncias estejam no estado líquido em condições ambiente. Enquanto que as gorduras contêm elevadas proporções de ácidos graxos saturados, implicando em ponto de fusão elevado e característica sólida em condições ambiente (Quadro 2). Quanto

maior a cadeia carbônica do ácido graxo, mais alto é o ponto de fusão (Moretto & Fett, 1998).

Quadro 2. Composição de ácidos graxos e ponto de fusão do óleo de oliva e da manteiga.

Estado físico à temperatura ambiente (25 °C)		Ácidos Graxos (%)					Ponto de Fusão
		Saturados				Insaturados	
		C4-C12	C14	C16	C18	C16+C18	
Óleo de oliva	Líquido	<2	<2	13	3	80	-6 °C
Manteiga	Sólido	11	10	26	11	40	32 °C

Fonte: Adaptado de Chaves et al. (2008)

Os óleos vegetais de diferentes espécies apresentam perfis de ácidos graxos variados que garantem características distintas (Quadro 3).

Quadro 3. Perfil de ácidos graxos de azeite de oliva, óleo de palma, canola e soja.

Ácidos graxos	Azeite de oliva (europeu)	Óleo de palma	Óleo de Canola	Óleo de Soja
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
Palmitoléico (C16:1)	0,70	0,12	0,20	0,30
Esteárico (C18:0)	2,50	4,54	1,50	4,00
Oléico (C18:1)	78,00	39,15	61,60	23,80
Linoléico (C18:2)	8,30	10,12	21,70	53,30
Linolênico (C18:3)	0,80	0,37	9,60	7,60
Araquidico (C20:0)	0,50	0,38	0,60	-
Behênico (C22:0)	0,10	-	0,30	-
Lignocérico (C24:0)	0,20	-	0,20	-
Razão $\omega 6:\omega 3$	10:1	27:1	2:1	7:1

Fonte: Basiron (2005); Firestone (2005); Hammond, Lawrence, Su, Wang & White (2005); Przybylski, Mag, Eskin & Mc Donald (2005)

O ácido linoléico ($\omega 6$), precursor das prostaglandinas, e o ácido linolênico ($\omega 3$) são considerados ácidos graxos essenciais para os seres humanos, pois não são produzidos pelo nosso organismo. O ácido araquidônico torna-se essencial se o seu precursor, o ácido linoléico, estiver ausente na dieta (Chape et al., 2002). O desequilíbrio entre os ácidos graxos poliinsaturados $\omega 6$ e $\omega 3$ na dieta está

relacionado à elevação dos riscos de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, entre outras patologias (Quadro 4) (Nelson et al., 2011; Fagundes, 2002).

Quadro 4. Razões adequadas entre ácidos graxos $\omega 6$ e $\omega 3$ indicadas por órgãos regulamentadores.

País ou Instituição	$\omega 6:\omega 3$	Referências
Canadá	4:1 – 10:1	SCR
Estados Unidos	2:1 – 3:1	Simopoulos
França	5:1	Chardigny et al
Japão	2:1 – 4:1	Kris-Etherton et al
Suécia	5:1	NCM
WHO/FAO	5:1 – 10:1	WHO

WHO= World Health Organization; FAO= Food and Agriculture Organization; SRC= Scientific Review Committee; NCM= Nordic Council of Ministers.

Fonte: Martin et al. (2006)

As razões entre $\omega 6:\omega 3$ de 2:1 a 3:1 estão associadas com a conversão máxima do ácido alfa-linolênico em ácido docosahexaenóico (DHA) (C22:6). O DHA, pertence à família $\omega 3$ e possui importante função na formação, desenvolvimento e funcionamento do cérebro e da retina (Martin et al., 2006).

Durante a história da nutrição humana, a razão entre os ácidos graxos $\omega 6:\omega 3$ consumidos pela população passou de 1-2:1 para 10-20:1 (Simopoulos, 2004). Alimentos ricos em ácidos graxos $\omega 3$ incluem peixes como, salmão e atum, alguns óleos, por exemplo, canola, além de castanhas e sementes. Os ácidos graxos $\omega 6$ podem ser encontrados em outros óleos vegetais como gergelim, milho e girassol, grãos de cereais, aves, carnes, leites, ovos e na maioria dos alimentos processados.

Na dieta americana, os ácidos graxos $\omega 6$ estão sendo consumidos excessivamente em relação aos ácidos graxos $\omega 3$. Essa característica intensifica o desequilíbrio na razão $\omega 6:\omega 3$, resultando em maior incidência de doenças cardiovasculares e efeitos prejudiciais aos ossos (Weiss, Barrett-Connor & Muhlen, 2005). Pode-se inferir um perfil semelhante no Brasil, devido o óleo de soja ser predominante na dieta da população brasileira, apresentando proporção sete vezes maior de ácido graxo $\omega 6$ em relação ao $\omega 3$.

O ácido oléico ($\omega 9$) monoinsaturado, embora não seja um ácido graxo essencial, é apontado como um importante componente da dieta por estar associado com a menor incidência de doenças cardiovasculares atuando no controle de

dislipidemias. Tem sido demonstrado que o consumo deste ácido graxo promove aumento nos níveis de HDL e redução de LDL (Lin & Huey, 2009). Os lipídeos devem fornecer em torno de 20 a 35% das calorias diárias na dieta humana. Deste total, os ácidos graxos monoinsaturados devem ser a fonte predominante, devendo corresponder a 2/3 do fornecimento de calorias de origem lipídica em uma dieta de 2000 kcal para adultos (NCEP, 2002).

Em meados de 1950, estabeleceu-se a relação entre a incidência de doenças cardiovasculares e o consumo de gorduras saturadas (principalmente as de origem animal). Esse fato estimulou a indústria a produzir óleos vegetais para fins comestíveis, levando à necessidade de pesquisa e desenvolvimento de novas fontes para atender a esta demanda (Balbino, Souza Junior & Tamashiro Filho, 2002).

Para a substituição da gordura animal optou-se por modificar a composição, estrutura e consistência dos óleos vegetais (Ribeiro, Moura, Grimaldi & Gonçalves, 2007). Um dos processos que causa essas alterações, através da elevação do ponto de fusão dos óleos, é a hidrogenação (Figura 7). Este processo consiste na adição de hidrogênio a cada átomo de carbono da dupla ligação, convertendo-as em ligações simples.

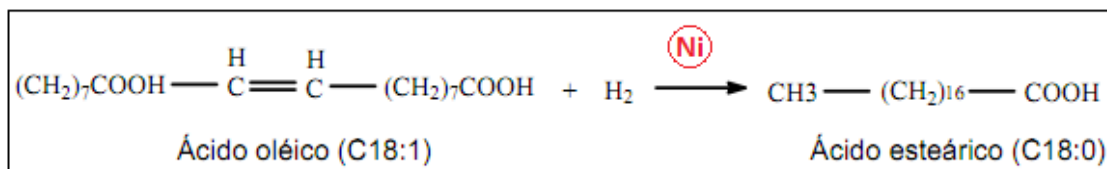


Figura 7. Representação da reação de hidrogenação do ácido oléico

Fonte: Adaptado de Ribeiro & Seravalli (2004)

Durante a reação de hidrogenação o óleo vegetal é exposto ao hidrogênio e à presença de um catalisador, normalmente níquel (Ni), à temperatura entre 140-225 °C, sob pressão e agitação vigorosa. Alcançado o grau de hidrogenação desejado, o óleo é filtrado para retirada do catalisador e branqueado (Fennema, 2000). Este processo produz várias reações químicas, levando à formação de isômeros, sendo os *trans* de maior relevância.

Na atualidade, as gorduras hidrogenadas têm sido largamente empregadas, tanto como substituto de ingredientes para os quais o ponto de fusão elevado é necessário, bem como para aqueles onde a estabilidade oxidativa é uma condição

essencial. Exemplos de alimentos que incorporam gorduras hidrogenadas são encontrados em margarinas, coberturas de chocolate, biscoitos, produtos de panificação, sorvetes, pastifício e em processos de fritura. A elevada estabilidade oxidativa aliada ao baixo custo deste ingrediente o torna altamente atrativo para as indústrias alimentícias.

A preocupação com os efeitos dos ácidos graxos *trans* na saúde humana tem aumentado. A similaridade estrutural entre os isômeros *trans* e as gorduras saturadas, provocam problemas cardiovasculares, desenvolvimento de diabetes infantil e inflamação das membranas, além de modificarem as funções metabólicas das gorduras poliinsaturadas e competirem com os ácidos graxos essenciais em vias metabólicas complexas (Ribeiro et al., 2007).

Alternativas tecnológicas estão sendo utilizadas para a substituição da hidrogenação em óleos vegetais. Grandes empresas produtoras de gorduras utilizadas na fabricação de margarinas, cremes vegetais, bolos, pães e sorvetes, estão adotando o processo de interesterificação como alternativa a hidrogenação, a fim de obter produto ausente de ácidos graxos *trans* (Rekson, 2007).

Através da interesterificação é possível ocasionar mudanças nas propriedades físicas dos óleos sem alterar a estrutura química dos ácidos graxos (Belitz et al., 1997). Ao contrário do processo de hidrogenação, não há isomerização das ligações duplas dos ácidos graxos, resultando assim, em gordura com baixo teor ou ausente de isômeros *trans* (Ribeiro et al., 2007).

Outro método alternativo encontrado é o fracionamento de gorduras, que separa a fração líquida (oleína) da fração sólida (estearina), sem produzir ácidos graxos *trans* (Nassu & Gonçalves, 1994).

A palma (*Elaies guineensis*), também conhecida como dendê, fornece dois tipos de óleo: da polpa, denominado óleo de palma, e da amêndoa, óleo palmiste. O óleo de palma contém aproximadamente 50% de ácidos graxos saturados e ponto de fusão em torno de 40 °C. Através do processo de fracionamento, as frações oleína e estearina do óleo de palma podem ser separadas (Basiron, 2005; Rekson, 2007; Remédios, Nunes, Cabral, Del Nero, Alcantara Júnior & Moreira, 2006).

A estearina do óleo de palma apresenta alto valor comercial por ser uma ótima alternativa para gordura hidrogenada, porém essa espécie desenvolve-se somente na faixa equatorial, tornando seu cultivo restrito (Basiron, 2005). Para a saúde

humana o óleo de palma apresenta a desvantagem de conter elevadas proporções de ácidos graxos saturados.

Na busca por aliar características nutricionais e industriais adequadas, fontes vegetais com alto teor de ácidos graxos monoinsaturados têm sido apresentadas como a alternativa mais promissora para substituir gorduras altamente saturadas, quando o principal objetivo de sua incorporação é a estabilidade oxidativa (Lin et al., 2009).

Para uso como matéria-prima na síntese de biocombustíveis, são desejáveis óleos com alta estabilidade oxidativa e menor ponto de fusão, como aqueles com alto conteúdo de ácidos graxos monoinsaturados. Estas características são desejáveis, também para outras aplicações, como em certos produtos cosméticos e farmacêuticos.

2.2.1 Estabilidade oxidativa dos óleos

Os óleos podem sofrer transformações químicas durante o processamento e armazenamento. A degradação dos lipídeos pode ser ocasionada por várias reações como, hidrólise, oxidação, fotoxidação, polimerização e pirólise (Araújo, 2003).

As transformações mais importantes são a rancidez hidrolítica e a rancidez oxidativa (Osawa, Gonçalves & Ragazzi, 2006). Dentre elas, a oxidação é a principal causa da degradação de vários produtos alterando sua qualidade.

Embora a oxidação em geral se inicie na fração lipídica, eventualmente outros componentes como as proteínas, vitaminas e pigmentos são afetados (Gray, 1978). As consequências são alterações no sabor, odor, textura, cor, aparecimento de ranço, depreciação do produto e perda do valor comercial. Ocorre também redução do valor nutritivo do alimento, por oxidação das proteínas pelos peróxidos, além do surgimento de compostos nocivos à saúde humana que podem causar câncer e doenças gástricas crônicas (Marques, Valente & Rosa, 2009; Bobbio & Bobbio, 1992; Moretto et al., 1998).

A rancidez hidrolítica pode ocorrer a partir de um processo bioquímico ou químico (hidrólise enzimática e hidrólise não enzimática). A hidrólise enzimática ocorre pelas reações catalisadas pelas lipases, que podem estar presentes nos frutos, grãos e sementes ou podem ser produzidas por microflora associada. Essas enzimas agem sobre os triacilgliceróis liberando ácidos graxos livres e glicerol,

umentando a acidez do meio (Figura 8). Já a hidrólise não enzimática ocorre através da presença de água, produzindo também ácidos graxos livres (Rupollo, Gutkoski, Marini & Elias, 2004; Sherwin, 1978; Berger & Hamilton, 1995).

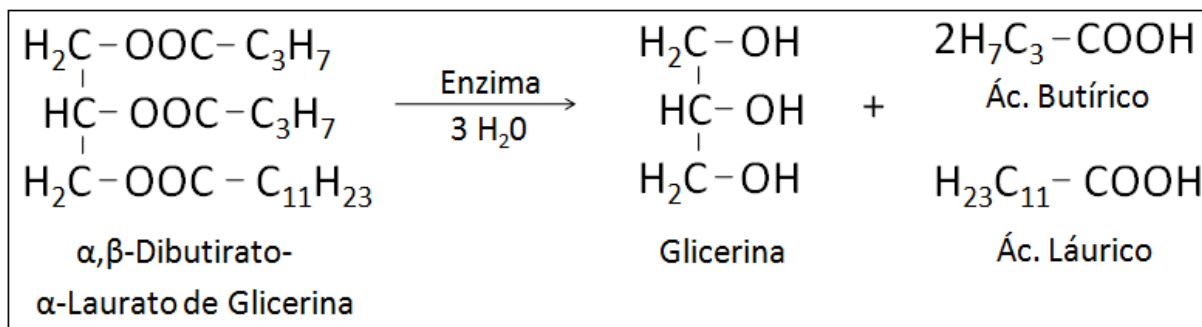


Figura 8. Reação de rancificação hidrolítica

Fonte: Adaptado de Zago Neto & Del Pinto (2011)

A rancidez oxidativa, também conhecida como auto-oxidação, produz peróxidos e hidroperóxidos (produtos primários sensorialmente inertes). Estes componentes, por uma série de reações paralelas produzem compostos voláteis, aldeídos e cetonas (produtos secundários) que dão o odor de ranço ao alimento (Moretto et al., 1998).

A auto-oxidação dos lipídeos está associada à reação do oxigênio com ácidos graxos insaturados e ocorre em três etapas (Fennema, 2000) (Figura 9):

- a) Iniciação – Em condições favorecidas pela luz, calor e metais (ferro e cobre), ocorre a retirada de um hidrogênio do carbono alílico da molécula de ácido graxo (RH), formando os radicais livres;
- b) Propagação – os radicais livres, que são prontamente susceptíveis ao ataque do oxigênio atmosférico, são convertidos em outros radicais, aparecendo os produtos primários de oxidação, peróxidos e os hidroperóxidos, e novos radicais livres. Os radicais livres formados atuam como propagadores da reação, resultando em um processo autocatalítico;
- c) Término – Ocorre à reação entre radicais livres, entre peróxidos e entre radicais livres e peróxidos para formar produtos estáveis (produtos secundários de oxidação) e finalizar o processo de oxidação.

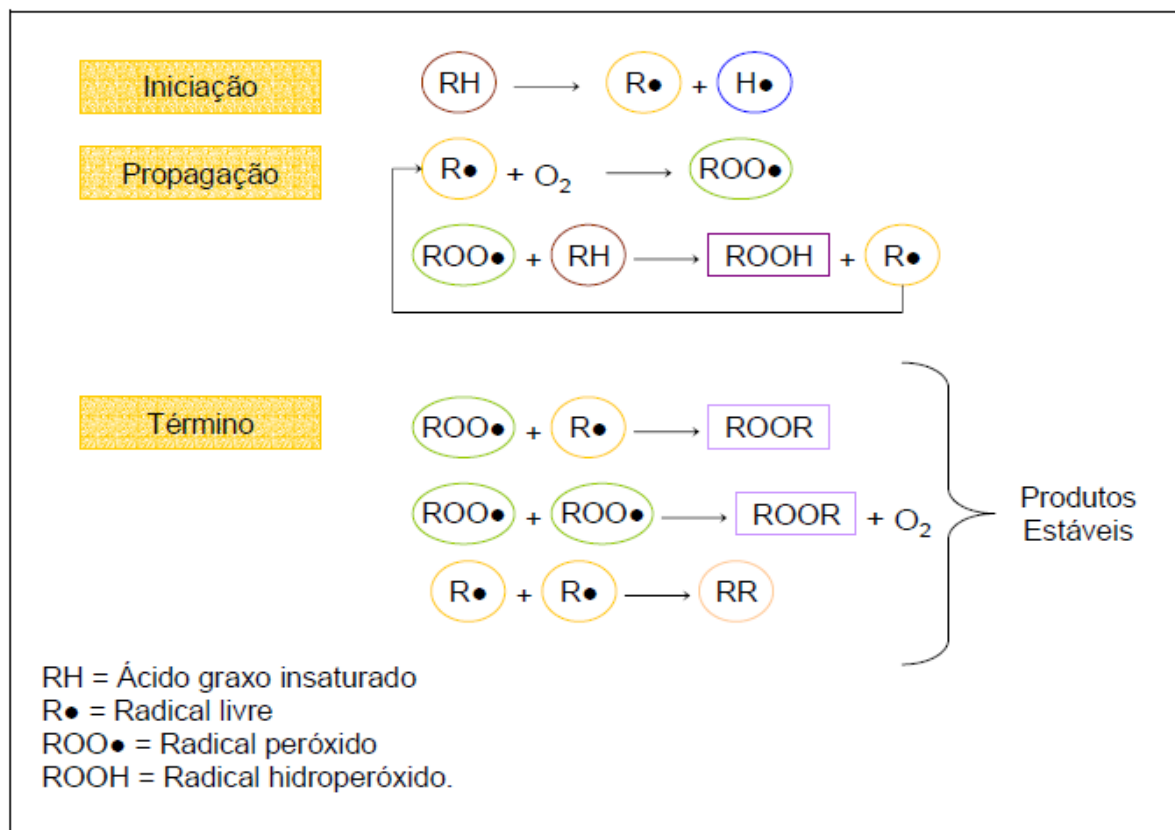


Figura 9. Mecanismo geral de oxidação lipídica

Fonte: Domingues (2008)

A velocidade da auto-oxidação é dependente do número de insaturações presentes na molécula dos ácidos graxos. É na dupla ligação da cadeia carbônica dos ácidos graxos que se localiza o ponto de maior instabilidade dos lipídeos (Regitano-D'arce, 2006). O óleo de soja, por exemplo, apresenta menor estabilidade oxidativa do que a gordura de coco, por conter 85% e 40% de ácidos graxos insaturados respectivamente (Canapi, Agustin, Moro, Pedrosa & Benadão Junior, 2005; Hammond et al., 2005). Existem alguns óleos que tendem a oxidar mais lentamente do que as gorduras, por conterem quantidades significativas de tocoferóis e carotenóides, os quais atuam como antioxidantes naturais, e por apresentarem altas concentrações de ácidos graxos monoinsaturados (Marques et al., 2009; Silva, Borges & Ferreira, 1999).

Antioxidantes sintéticos como butil-hidroxi-anisol (BHA), butil-hidroxi-tolueno (BHT), propil galato (PG), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e natural como o ácido cítrico são amplamente utilizados pelas indústrias alimentícias para impedir o mecanismo de oxidação. Estudos toxicológicos demonstram efeitos carcinogênicos

em animais relacionados com o uso de antioxidante sintético. Pesquisas têm sido dirigidas no sentido de encontrar produtos naturais com atividade antioxidante, com a finalidade de substituir os sintéticos (Ramalho & Jorge, 2006; Botterweck, Verhagen, Goldbohm, Kleinjans & Van den Brandt, 2000).

2.2.2 Demanda de óleo

A gordura animal predominou como principal fonte de óleo para consumo humano até a década de 60. A oferta de óleo vegetal foi ampliada com a expansão do cultivo da palma e da soja no mundo (Figura 10) (Osaka & Batalha, 2008).

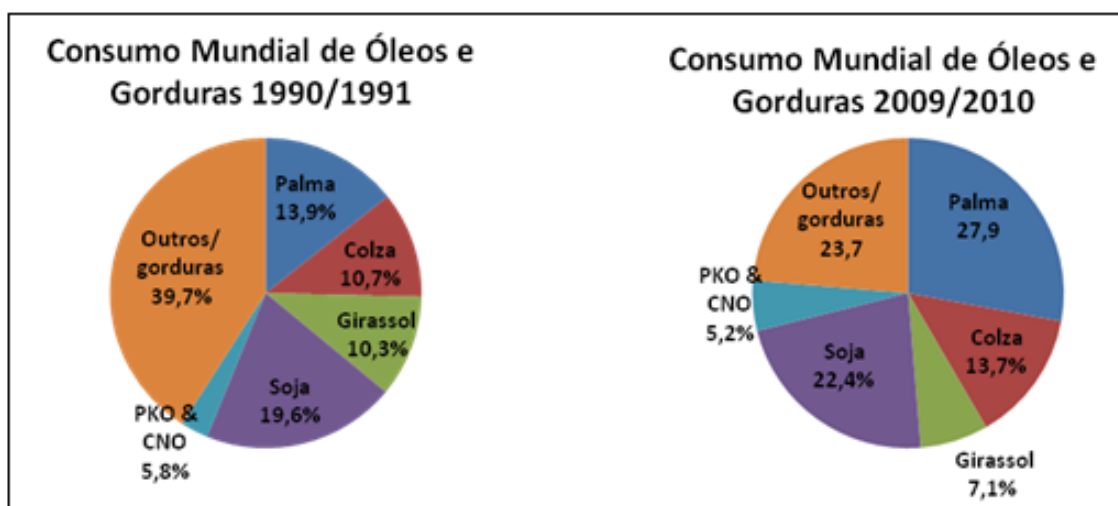


Figura 10. Consumo mundial de óleos e gorduras

Fonte: Adaptados de Mielke (2010)

No Brasil, o consumo anual de óleos vegetais entre os anos de 2000 a 2007 foi de aproximadamente 3,72 milhões de toneladas. A oferta de óleo no país se concentra principalmente na cultura de soja, seguido pelo caroço de algodão (Figura 11) (Nunes, 2007).

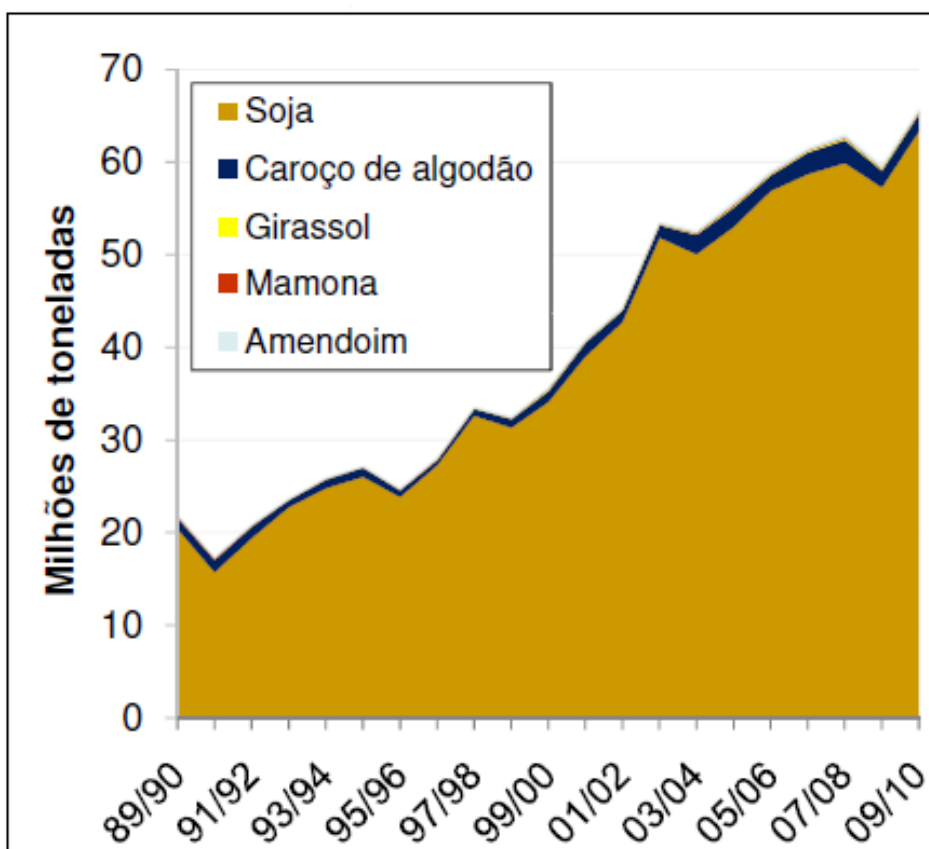


Figura 11. Produção brasileira de oleaginosas nas últimas duas décadas

Fonte: Amaral (2010)

O mercado da soja está baseado, sobretudo, no fornecimento de farelo para ração (Osaka et al., 2008). O óleo pode ser considerado um produto secundário nesta cadeia produtiva. O rendimento de óleo da soja é baixo, cerca de 500 kg/ha (Laviola, 2009).

Por outro lado, a palma apresenta elevada produtividade de óleo, chegando a patamares 10 vezes superior à soja. A produção mundial do óleo de palma ultrapassou a produção do óleo de soja desde os anos de 2004 e 2005 (Figura 12) (Lipid Library, 2011).

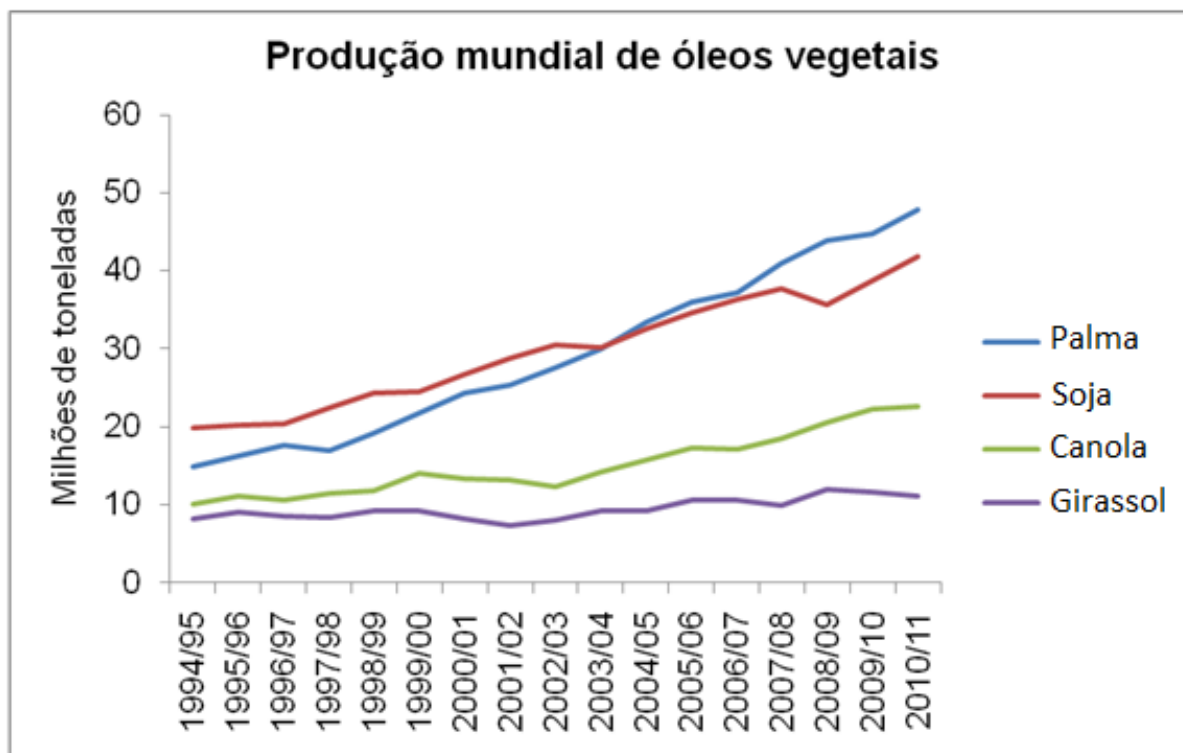


Figura 12. Produção (milhões de tonelada) dos óleos de palma, soja, canola e girassol entre os anos de 1994/95 a 2010/2011

Fonte: Adaptado de Lipid Library (2011)

No ano-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. A alimentação é o destino predominante da maior parte da demanda por óleos vegetais (80%), embora o uso para biodiesel venha aumentando (Figura 13) (Amaral 2010; Nunes, 2007)

O governo federal brasileiro implantou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, onde se tornou obrigatório a partir de janeiro de 2010 a adição de 5% de biodiesel ao diesel de petróleo (Storck Biodiesel, 2011).

Ao final de 2010, as principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel foram a soja (80,62%), gordura bovina (13,68%), algodão (3,56%) entre outras (2,14%) (MME, 2010).

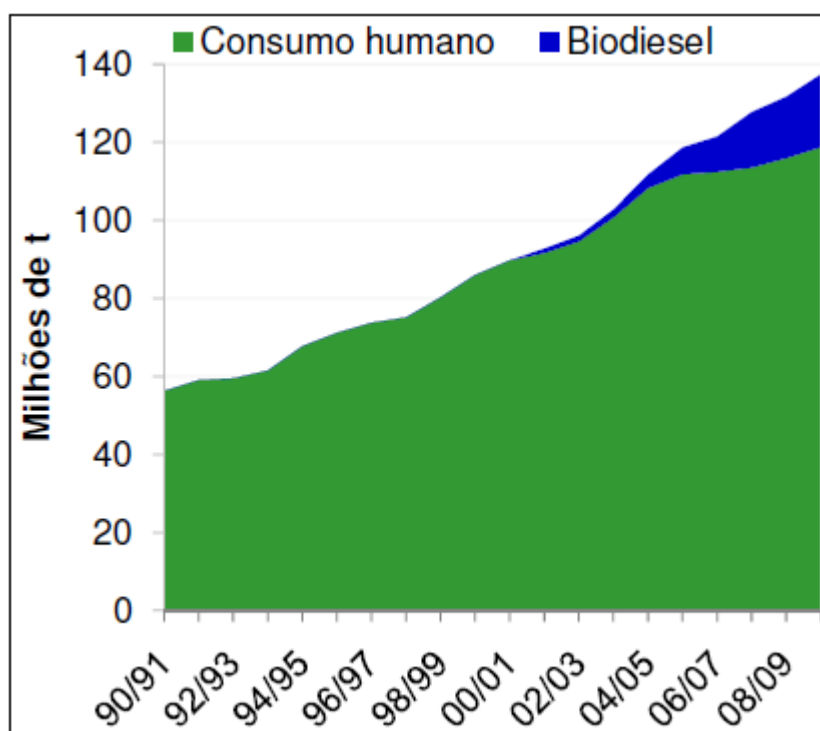


Figura 13. Demanda mundial de óleo para consumo humano e biodiesel

Fonte: Amaral (2010)

A tendência para atender o mercado de óleos e gorduras é se buscar alternativas com maior densidade energética para minimizar custos e impactos ambientais, apropriadas para diferentes regiões do globo terrestre.

2.3 *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex. Mart

A macaúba é uma palmeira do gênero *Acrocomia*, pertencente à família Arecaceae, dentro da ordem Arecales, da classe Liliopsida, divisão Magnoliophyta, do reino Plantae (Figura 14) (Moura, 2007). O termo *Acrocomia* tem origem grega e descreve a forma como as folhas estão dispostas na planta, ‘*Akron*’ (cima) e ‘*Kome*’ (cabeleira), sugerindo o formato de coroa (Novaes, 1952; Henderson, Galeano & Bernal, 1995).

Apesar de serem descritas várias espécies de *Acrocomia*, muitas na verdade são sinônimas de *A. aculeata*, como *A. totai*, *A. mexicana*, *A. media*, entre outras (Henderson et al., 1995). Por ser um gênero com ampla dispersão geográfica, podem ocorrer variações morfológicas dentro das mesmas espécies, sendo necessários estudos para caracterizar este gênero.



Figura 14. *Acrocomia aculeata*

Fonte: Acervo Pessoal

A *Acrocomia aculeata* é conhecida popularmente como: macaúba, macaíba, macaiúva, mocajá, mocujá, mucajá, bacaiúva, bocaiuva, coco-de-catarro ou coco-de-espinho, imbocaiá, umbocaiuva (Lorenzi & Matos, 2002), dependendo da região de sua ocorrência.

2.3.1 Distribuição Geográfica

A macaúba é uma palmeira de vasta distribuição geográfica, que se estende do México à Argentina, embora sua ocorrência seja mais abundante nas Antilhas, Costa Rica, Paraguai e Brasil (Figura 15) (Cetec, 1983).

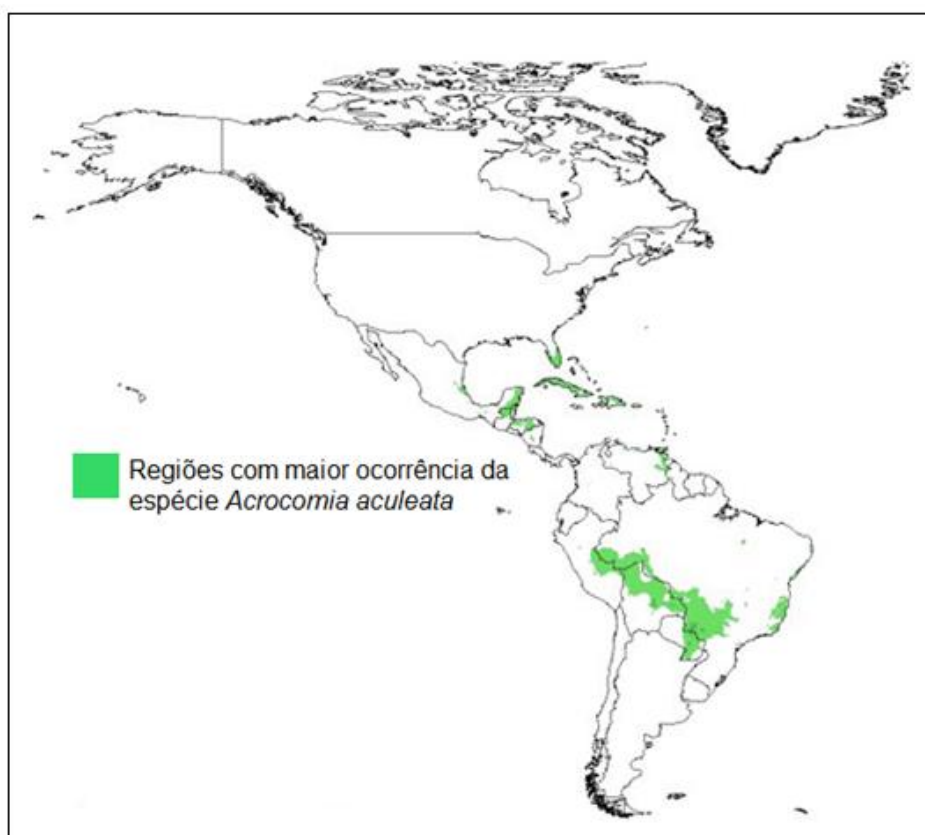


Figura 15. Regiões com maior ocorrência da espécie *Acrocomia aculeata*

Fonte: New World Fruits (2006) citado por Nucci (2007)

No Brasil é considerada como a palmeira de maior dispersão, com ocorrência de povoamentos naturais em quase todo o território (Figura 16). Suas maiores concentrações estão localizadas principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Tocantins, sendo amplamente disseminada pelas áreas do Cerrado e Pantanal (Ratter, Bridgewater & Ribeiro, 2003).

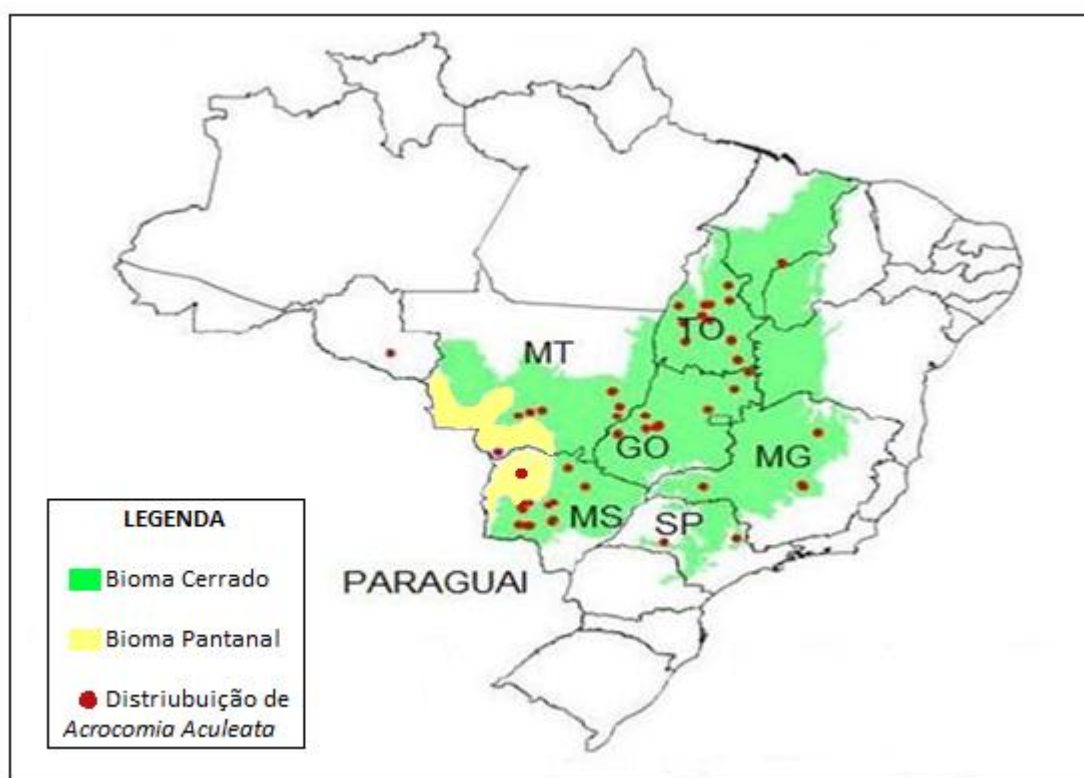


Figura 16. Distribuição da Macaúba no Brasil

Fonte: Adaptado de Ratter et al. (2003)

No passado, grandes maciços nativos de macaúba eram encontrados em São Paulo. No entanto, essas reservas da palmeira foram praticamente extintas, dando lugar aos plantios sistemáticos de café (Novaes, 1952).

2.3.2 Características Gerais

As macaúbas são palmeiras robustas, que apresentam estipe ereto e cilíndrico, de 30 a 40 cm de diâmetro, podendo atingir até 15 metros de altura (Cetec, 1983). Nos troncos de alguns indivíduos encontram-se espinhos escuros e pontiagudos, principalmente na região dos nós, cuja quantidade e o tipo são variáveis (Figura 17).

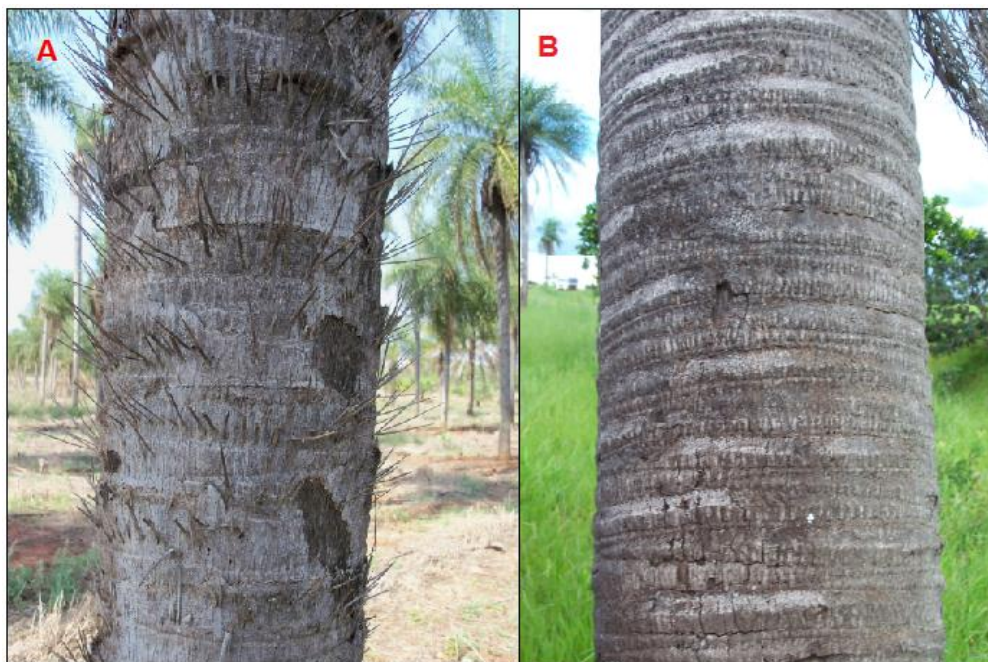


Figura 17. Tronco da macaúba com (A) e sem (B) espinhos

Fonte: Acervo Pessoal

As folhas são pinadas apresentando de quatro a cinco metros de comprimento, geralmente em número de 20 a 30, coloração verde escuro, distribuídas em diferentes planos dando um aspecto plumoso à copa. Os folíolos são aproximadamente em número de 130 para cada lado da folha que é recoberta de espinhos (Figura 18) (Nucci, 2007).



Figura 18. Vista geral da copa da palmeira (A); Folha da Macaúba (B)

Fonte: Acervo Pessoal

As inflorescências são amareladas e agrupadas em cachos pendentes com comprimento de 50 a 80 cm protegidas por uma espata de até 2 m de comprimento (Figura 19). A floração ocorre entre setembro a fevereiro. As flores são de coloração amarelo-clara, unissexuais e ambos os sexos aparecem numa mesma inflorescência, cujas flores femininas nascem na base da inflorescência e as masculinas no topo (Figura 20) (Costa, 2009). A polinização ocorre principalmente por besouros, com o vento desempenhando um papel secundário. Os principais polinizadores são *Andranthobius* sp. (Curculionidae), *Mystrops cf mexicana* (Nitidulidae) e *Cyclocephala forsteri* (Scarabaeidae) (Scariot, Lleras & Hay, 1991).



Figura 19. Inflorescência de macaúba protegida pela espata

Fonte: Nucci (2007)

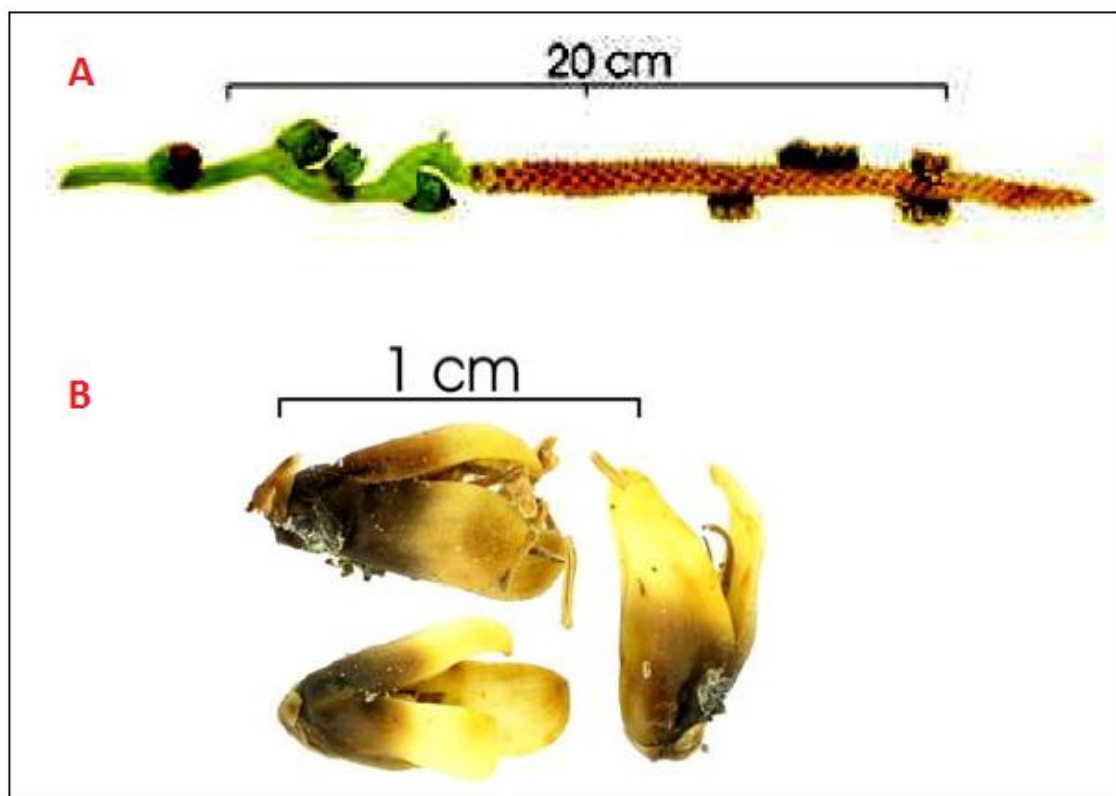


Figura 20. Inflorescência em formação (A); Flores de Macaúba (B)

Fonte: Nucci (2007)

Os frutos são esféricos com diâmetro variando de 2,5 a 5,0 cm, sendo dispostos em cachos (Figura 21). O epicarpo (casca) apresenta coloração marrom-amarelada e se rompe facilmente quando maduro. O mesocarpo (polpa) é comestível, fibroso, de sabor adocicado, de coloração amarela ou esbranquiçada. O endocarpo é fortemente aderido à polpa, sendo muito rígido e de coloração negra. Os frutos apresentam amêndoas oleaginosas comestíveis que permanecem envolvidas pelo endocarpo (Figura 22). Os frutos são formados por cerca de 20% de casca, 40% de polpa, 33% de endocarpo e 7% de amêndoa. A frutificação ocorre durante todo o ano e os frutos amadurecem, principalmente, entre os meses de setembro e janeiro (Faria, 2010; Lorenzi, 2006; Cetec, 1983; Nucci, 2007). No estado de Mato Grosso do Sul tem se observado a extensão do período de maturação até o mês de março.



Figura 21. Cacho com frutos de macaúba (A) e (B)

Fonte: Acervo Pessoal

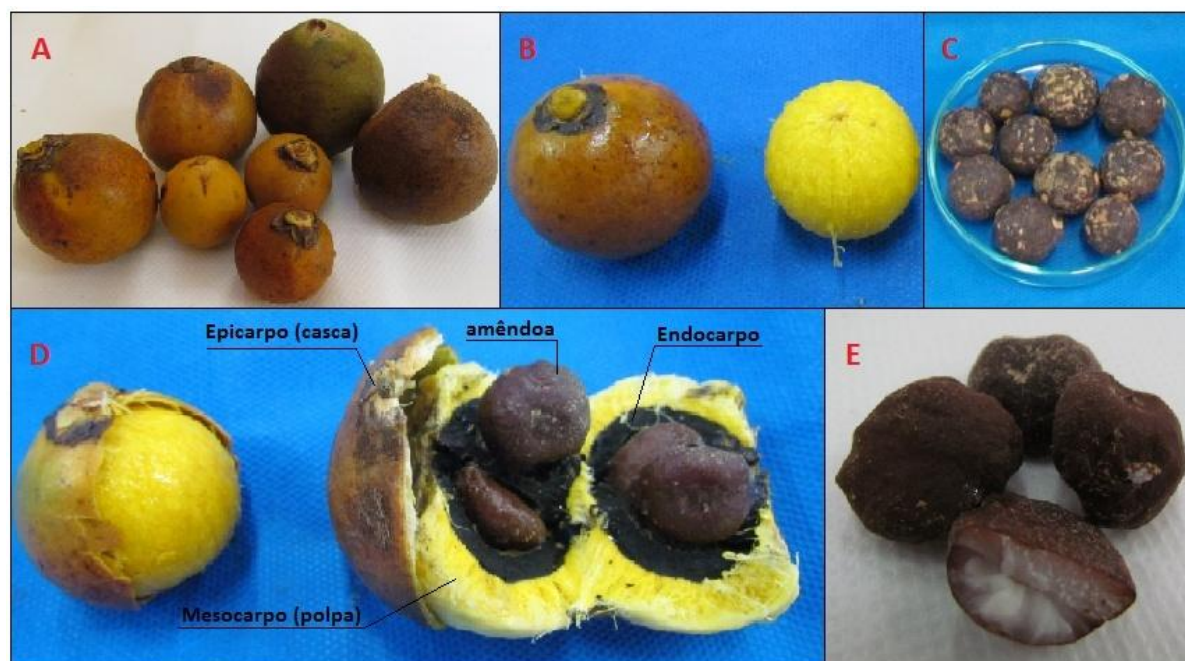


Figura 22. Frutos maduros de macaúba (A); Fruto com e sem epicarpo (B); Coquinho (Endocarpo + Amêndoa) (C); Fruto de macaúba cortado ao meio evidenciando todas as partes do fruto (D); Amêndoas (E)

Fonte: Acervo Pessoal

A expansão vegetativa da macaúba é rápida, chegando a crescer um metro por ano. A frutificação pode ocorrer antes mesmo de a palmeira atingir seu desenvolvimento completo, em geral aos seis anos. Dependendo das condições edafoclimáticas é possível a frutificação plena aos quatro anos de idade (Cetec, 1983).

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 & Pott, 1994). O gado bovino também pode se alimentar destes frutos e contribuir para sua dispersão (Teles, 2009).

Há grande variação no tamanho do fruto, na coloração da casca e polpa (Figura 22). Essas diferenças podem estar relacionadas com fatores genéticos, visto que plantas de uma mesma região, onde clima e solo são os mesmos, apresentam grande diversidade. São de extrema importância o conhecimento e a caracterização dessa variabilidade, para que se possam identificar as plantas com maiores potenciais ou com fins específicos nas diferentes localidades do Cerrado e Pantanal.

2.3.3 Utilidades da palmeira macaúba

Entre as plantas localizadas no Cerrado e Pantanal com grande perspectiva para exploração comercial, a espécie *Acrocomia aculeata* apresenta uma gama de aplicações (Quadro 5). Apesar de se encontrar em maciços nativos em quase todo o território nacional, esta espécie tem sido explorada de forma rudimentar e doméstica, bem aquém de sua potencialidade econômica. O valor econômico representado pela macaúba pode ser avaliado em função das amplas possibilidades de seu aproveitamento integral.

Quadro 5. Uso de distintas partes de *Acrocomia aculeata*.

Parte da planta usada	Categoria de uso	Finalidades de uso
Estipe	Construção	Parede, caibro, ripas, calhas para água, mourão, estacas
Estipe (Medula)	Alimento	Fécula nutritiva
Estipe (Meristema apical)	Alimento	Palmito
Estipe (Seiva)	Alimento	Vinho
	Medicinal	Febrífuga
Folha	Forragem	Gado bovino, eqüino, ração animal
	Fibra	Chapéu, balaio, linha de pesca, redes
	Construção	Cobertura de casas
Mesocarpo	Medicinal	Fortificante
	Alimento	Fruta, goma de mascar, doces, sorvete, geléias, farinha
Óleo do mesocarpo	Alimento	Licor, sorvete, óleo de cozinha
	Medicinal	Analgésico
	Cosmético	Hidratante capilar
	Energia	Biodiesel
Raízes	Medicinal	Diurético
Endocarpo	Artesanal	Confecções de botões
	Energia	Carvão, biomassa
	Outro	Substitui a brita no concreto, carvão ativado
Amêndoa	Alimento	Coco, paçoca
Óleo de amêndoa	Alimento	Óleo de cozinha
	Combustível	Lamparina, biodiesel
	Cosmético	Hidratante capilar
	Medicinal	Laxante

Fonte: Adaptado de Lorenzi (2006)

2.3.4 Polpa da Macaúba

A polpa de macaúba, em base seca, representa entre 34,0% a 48,0% do fruto (Cetec, 1983), sendo rica em carboidratos e fibras, além de possuir grande potencial energético (Quadro 6).

Quadro 6. Composição centesimal da polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*).

Componentes	Média ± Desvio Padrão (g/100 g em base úmida)
Umidade	52,99 ± 2,88
Lipídeos (Base úmida)	8,14 ± 1,45
Resíduo mineral fixo	1,51 ± 0,06
Proteínas	1,50 ± 0,04
Glicose	9,47 ± 2,48
Sacarose	0,07 ± 0,17
Amido	12,56 ± 0,48
Fibra por diferença	13,76 ± 4,07
Valor calórico total (kcal/100 g)	167,67 ± 2,56

Fonte: Ramos, Ramos Filho, Hiane, Braga Neto & Siqueira (2008)

Por outro lado, tem se observado grande variabilidade na composição da macaúba entre plantas de ocorrência numa mesma região (Quadro 7). A umidade apresentou variação superior a 100%, e o teor de lipídeos variou cinco vezes de uma planta para outra.

Quadro 7. Variação na umidade e teor de lipídeos (base úmida) de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) coletados no estado de Mato Grosso do Sul.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Umidade (%)	24,90 ± 3,43	55,15 ± 0,73
Teor de Lipídeos (%)	4,20 ± 0,91	24,71 ± 0,16

Fonte: Ciconini et al. (2010)

A polpa de macaúba apresenta alto teor de fibras (Quadro 06), sendo superior ao valor encontrado no pequi (10,02%), outro fruto nativo do Cerrado (Lima, Silva, Trindade, Torres & Mancini-Filho, 2007). O consumo de 100 g de polpa de macaúba fornece 55% das necessidades diárias de fibra alimentar (25 g/dia) e aproximadamente 8,4% das necessidades calóricas diária de um adulto com uma dieta de 2000 kcal (Brasil, 2003; Brasil, 1998).

Dentre os minerais encontrados na polpa de macaúba, o potássio é o que se apresenta em maior quantidade, seguido pelo cálcio e fósforo (Quadro 8).

Quadro 8. Teores dos minerais presentes na polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*).

Mineral	mg/100 g
Potássio	766,37 ± 2,30
Cálcio	61,96 ± 0,00
Fósforo	36,70 ± 18,36
Mineral	µg/g
Sódio	3,74 ± 0,25
Ferro	7,81 ± 0,22
Manganês	1,38 ± 0,00
Zinco	6,02 ± 0,11
Cobre	2,43 ± 0,00

Fonte: Ramos et al. (2008)

Na polpa de macaúba são encontradas concentrações elevadas de carotenóides, os quais são responsáveis pela sua coloração laranja (Rodriguez-Amaya, Kimura & Amaya-Farfan, 2008).

Os carotenóides apresentam ampla distribuição, diversidade estrutural e funções (Figura 23). Mais de 600 carotenóides, não incluindo isômeros cis e trans, já foram isolados e caracterizados a partir de fontes naturais. Na saúde humana a sua importância está relacionada com a atividade pró-vitâmica A de alguns destes compostos, e por sua propriedade antioxidante, que melhora a resposta imune e diminui o risco de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular (Rodriguez-Amaya, 2002; Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004).

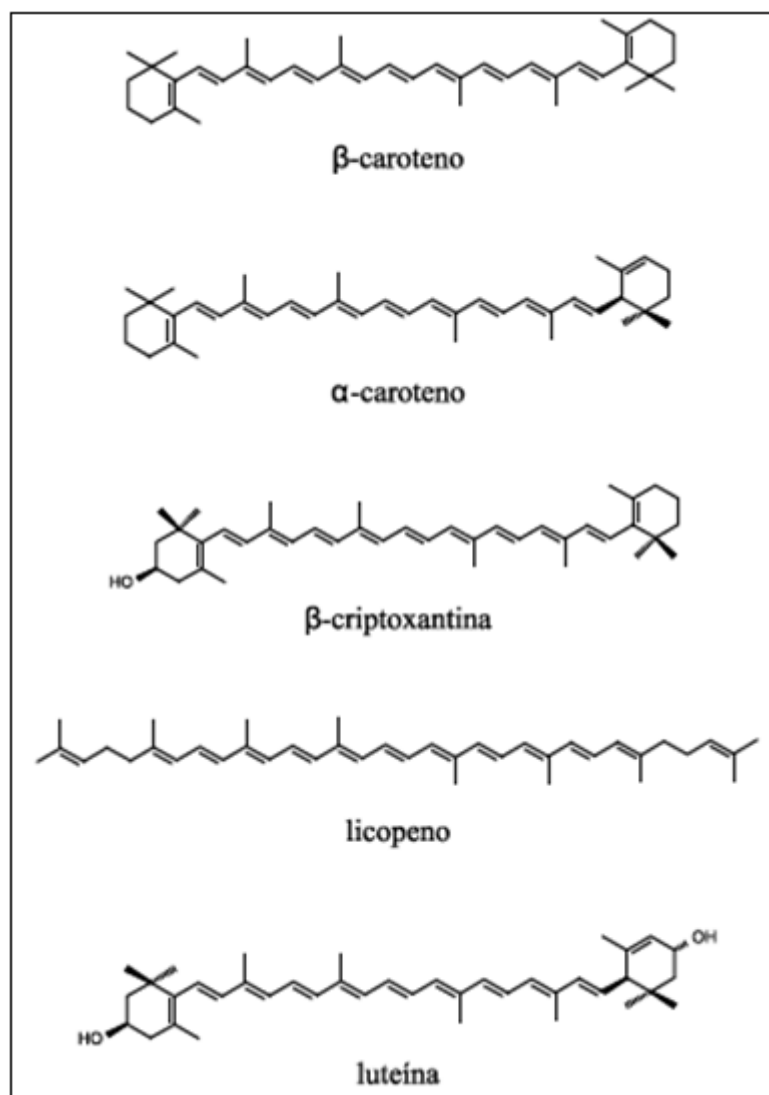


Figura 23. Alguns dos diversos carotenóides existentes

Fonte: Rodriguez-Amaya et al. (2008)

O β -caroteno, α -caroteno e β -criptoxantina são pró-vitaminas A. A molécula de vitamina A é a metade da molécula de β -caroteno, com uma molécula de água no final da cadeia poliênica. Devido a isso, o β -caroteno é o carotenóide que apresenta maior atividade pró-vitamínica A (100%), além de ser o mais abundante na alimentação do homem. Para exibir atividade como pró vitamina A, a molécula do carotenóide necessita de no mínimo um anel β insubstituível, com uma cadeia poliênica de 11 carbonos (Thurnham, 2007; Silva, 2006; Rodriguez-Amaya et al., 2008).

Entre as funções da vitamina A no organismo estão à participação no processo de visão, crescimento, diferenciação de tecidos, função imunológica, reprodução e

desenvolvimento embrionário. A carência de vitamina A pode levar à cegueira noturna, xeroftalmia, xerodermia e hiperqueratose folicular. Além disso, crianças com deficiência de vitamina A estão sob maior risco de sarampo, diarreia e infecções respiratórias (Campos & Rosado, 2005).

A hipovitaminose A constitui um dos principais problemas nutricionais de populações de países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. Entre as principais estratégias utilizadas no combate desta deficiência estão a fortificação de alimentos e as mudanças na alimentação, incluindo maior consumo de frutas e vegetais ricos em carotenóides (Ambrósio, Campos & Faro, 2006).

Na polpa de macaúba, o carotenóide majoritário é o β -caroteno, representando aproximadamente 82%. Estão presentes também, outros carotenóides em menor quantidade como o γ -caroteno, β -criptoxantina e cis-licopeno (Ramos, Siqueira, Isomura, Barbosa & Arruda, 2007). A proporção de β -caroteno presente na polpa de macaúba é superior a encontrada em outros frutos, como na polpa de pequi, 6,35% (Ramos, Umaki, Hiane & Ramos Filho, 2001). Isto evidencia o potencial da polpa de macaúba como um alimento altamente nutritivo capaz de contribuir para o enriquecimento da dieta regional em programas de suplementação alimentar.

2.3.5 Óleo de polpa de Macaúba

A macaúba é uma das palmeiras mais promissoras no Brasil como fonte de óleo para indústria cosmética, de alimentos e de combustíveis. Os frutos de macaúba fornecem dois tipos de óleo economicamente importantes: óleo de polpa e óleo de amêndoa.

O óleo de polpa da macaúba apresenta coloração alaranjada (Figura 24) e com características semelhantes ao azeite de oliva, sendo chamado popularmente de azeite do Cerrado (Potencialidades, 2011).



Figura 24. Óleo bruto da polpa de macaúba

Fonte: Acervo Pessoal

De acordo com estimativas, essa oleaginosa pode produzir 4.500 litros de óleo por ha/ano (Roscoe, Richetti & Maranhão, 2007). Quando comparado ao rendimento oleaginoso de culturas anuais como a soja que produz 420 litros, o girassol 890 litros e até mesmo a mamona 1320 litros de óleo por hectare/ano (César, 2003), a cultura de macaúba desponta com o seu alto potencial produtivo. Embora o dendê supere a macaúba na produção de óleo, esta apresenta a vantagem de se adaptar em ambientes secos, tendo baixa necessidade hídrica (Costa, 2009).

A macaúba é indicada como uma das principais matérias-primas para a indústria de biodiesel, por sua alta produtividade, alta combustão e por ser pouco poluente (Teles, 2009). 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, Ferreira & Cabral, 2009). Outro importante subproduto é o endocarpo, que pode ser utilizado como carvão por apresentar elevado poder calorífico (Boas, Carneiro, Vital, Carvalho & Martins, 2010).

Ciconini et al. (2010) avaliando sete indivíduos de macaúba coletados no estado de Mato Grosso do Sul, observaram grandes variações nas características físico-químicas do óleo de polpa da macaúba (Quadro 9).

Quadro 9. Características físico-químicas dos óleos de polpa de macaúba (*Acrocomia aculeata*) de frutos coletados em Mato Grosso do Sul.

Parâmetros	Mínimo	Máximo
Acidez (% ácido oléico)	$1,08 \pm 0,12$	$11,42 \pm 0,65$
Absortividade 232 nm	$1,64 \pm 0,12$	$4,76 \pm 0,17$
Absortividade 270 nm	$0,40 \pm 0,10$	$0,79 \pm 0,07$
Índice de Iodo (Wijs)	$66,22 \pm 0,05$	$78,81 \pm 0,28$
Refração a 20 °C	1,4630	1,480

Fonte: Ciconini et al. (2010)

Segundo a legislação brasileira, a acidez permitida para óleos brutos é de no máximo 5% (Brasil, 2005). A elevada acidez indica o desenvolvimento de reações hidrolíticas, com a produção de ácidos graxos livres, e consequentemente, de diglicerídeos, que ocorre devido à presença de água, temperatura e enzimas (Cella, Regitano-D'arce & Spoto, 2002).

Baixo teor de ácidos graxos livres é fundamental na produção de biodiesel, pois esses durante o processo de transesterificação podem reagir com o catalisador alcalino formando produtos saponificados, diminuindo a eficiência de conversão (Kusdiana & Saka, 2001). Para a indústria alimentícia e farmacêutica, elevada acidez compromete o processamento e a qualidade final do óleo, uma vez que provoca profunda modificação da fração lipídica, proporcionando alterações sensoriais (Gómez-Pinöl & Boronat, 1989).

A acidez é diminuída durante o processo de refino do óleo, porém quanto maior a quantidade de ácidos graxos livres, maior será a perda durante este processo (Pauca-Menacho, Silva, Sant'ana & Gonçalves, 2007).

Quantitativamente, os principais ácidos graxos presentes na polpa de macaúba são o ácido oléico, 65,87% e o ácido palmítico, 15,96% (Quadro 10) (Hiane, Ramos Filho, Ramos & Macedo, 2005).

Quadro 10. Perfil de ácidos graxos da polpa de macaúba.

Ácidos Graxos	% na polpa
Ácido Caprílico (C8:0)	0,45
Ácido Cáprico (C10:0)	0,27
Ácido Láurico (C12:0)	1,97
Ácido Mirístico (C14:0)	0,45
Ácido Palmítico (C16:0)	15,96
Ácido Palmitoléico (C16:1)	1,01
Ácido Esteárico (C18:0)	5,92
Ácido Oléico – ω 9 (C18:1)	65,87
Ácido Linoléico – ω 6 (C18:2)	5,10
Ácido Linolênico - ω 3 (C18:3)	2,52
Ácido Araquídico (C20:0)	0,50
% de ácidos graxos saturados	25,52
% de ácidos graxos insaturados	74,50
% de ácidos graxos monoinsaturados	66,88
% de ácidos graxos poliinsaturados	7,62
Monoinsaturados/Saturados	2,62
Razão ω -6/ ω -3	2:1 (2,02)

Fonte: Adaptado de Hiane et al. (2005)

Estudos indicam que altas concentrações de ácido oléico (monoinsaturado) reduzem lipoproteínas de baixa densidade (LDL), conhecido como “mau” colesterol, e elevam os níveis de lipoproteínas de alta densidade (HDL), “bom” colesterol. O ácido oléico vem sendo incorporado a outros óleos que possuem baixa concentração desse ácido graxo, a fim de oferecer propriedades benéficas à saúde e aumentar a estabilidade oxidativa do produto (Lin et al., 2009; Huang & Sumpio, 2008). O óleo de polpa de macaúba não necessita dessa adição, uma vez que pode ser considerada uma fonte natural de ácido oléico.

A razão entre ω -6 e ω -3 de 2:1 a 3:1 é recomendada por possibilitar a conversão máxima do ácido alfa-linolênico em ácido docosahexaenóico (DHA) (C22:6) (Martin et al., 2006). O desequilíbrio entre ácidos ω -6 e ω -3 estão associados a doenças como câncer, doença cardíaca coronariana, infarto do

miocárdio, acidente vascular cerebral, diabetes, entre outras (Fagundes, 2002). O óleo de soja e o óleo de palma apresentam respectivamente a razão ω -6: ω -3 de 7,5:1 e 27:1 (Hammond et al., 2005; Basiron, 2005). Com base no perfil de ácido graxo reportado por Hiane et al. (2005), pode-se estimar razão ω -6: ω -3 de 2:1 no óleo de macaúba. Este valor é descrito como desejado e recomendado por diversos países, como Estados Unidos e Japão (Martin et al., 2006).

2.3.6 Cultivo Racional de Macaúba

Atualmente, a exploração da macaúba é realizada de forma extrativista, aproveitando os povoamentos nativos dessa planta. Para a exploração industrial, faz-se necessário a substituição da atividade extrativista por cultivos racionais e sustentáveis. Para viabilizar esse cultivo é necessária a seleção de genótipos com características desejadas e a produção de mudas padronizadas para se ter uma população homogênea (Motoike, Carvalho, Lopes & Couto, 2011).

A propagação da macaúba pela forma sexuada é naturalmente muito difícil, pois a germinação é lenta e irregular (Meerow, 1991), atingindo aproximadamente uma taxa de 3%. A Universidade Federal de Viçosa - UFV desenvolveu uma técnica que possibilita taxa de germinação de 60 - 80% (Universidade Federal de Viçosa, 2009). Este procedimento foi licenciado à empresa Acrotech, localizada em Viçosa – Minas Gerais, que atualmente é a única fornecedora de sementes de macaúba pré-germinadas.

A macaúba pode ser cultivada em sistema agrossilvipastoril em consórcio com outras oleaginosas, como pinhão-mansão, mamona, girassol, que garantiriam o sustento dos produtores até a frutificação e amadurecimento da macaúba (Figura 25) (Cetec, 1983; Moura, 2007).

Em sistema agrossilvipastoril as macaubeiras poderiam imobilizar CO_2 atmosférico e minimizar o impacto negativo de gases liberados pelos bovinos, conforme relatado por Primavesi (2007) e Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales & Haan (2006). Um boi pode emitir anualmente 56 kg de metano e 50 kg de gás carbônico. Estima-se, com base na produção de massa seca, que uma palmeira de macaúba adulta pode imobilizar aproximadamente 55 kg de gás carbônico anualmente (Steinfeld et al., 2006). Para aumentar a produção de frutos de macaúba

essas palmeiras precisariam ser adubadas e consequentemente a pastagem seria beneficiada.



Figura 25. Macaúba em consórcio com gergelim (A); Macaúba e pastagem (B)

Fonte: Rúbio Neto, 2010

No Paraguai, indústrias de mais de 50 anos exploram a macaúba de forma extrativista para a produção de óleo, na região de Horqueta e Assunción (Informação Verbal¹). No Brasil, empresas como Paradigma e Cocal do Brasil extraem óleo a partir de maciços nativos de macaúba.

Iniciativas para o plantio comercial de macaúba estão surgindo em várias regiões do Brasil. No estado de Mato Grosso do Sul, município de Itaum, a fazenda Paraíso já implantou 70 ha dessa palmeira (Informação Verbal²). Em Minas Gerais a lei estadual 19.485/2011, incentiva o cultivo, extração, comercialização e transformação desta palmeira oleaginosa (SEAPA, 2011).

2.4 Métodos analíticos de características físico-químicas de óleos

As análises normalmente realizadas em óleos e gorduras são parâmetros que servem para a caracterização da identidade e qualidade destes produtos. Quanto à aparência devem se apresentar límpidos, isentos de partículas em suspensão ou depósitos. Não devem apresentar sabor e odor estranhos ou componentes indicativos de alteração de produto ou de emprego de tecnologia de fabricação

¹ Informação fornecida pelo Dr. Renato Roscoe em Julho de 2011.

² Informação fornecida por Ernste Ferter em Novembro de 2011.

inadequada (Codex Alimentarius, 2005). Algumas das análises que podem ser realizada em óleos são:

a) *Acidez em óleo*

A acidez revela o estado de conservação do óleo, podendo ser calculado das seguintes maneiras (AOCS, 1995):

- Definido como o número de mg de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos livres de 1 g da amostra
- Definido como a porcentagem de ácidos graxos livres, expressa como ácido oléico, em óleos comuns, brutos e refinados.

b) *Índice de Peróxidos*

Os lipídios sofrem o processo de oxidação na presença de oxigênio, com formação inicial de peróxidos, que em meio ácido, liberam iodo a partir do iodeto de potássio. Esse iodo liberado é titulado pelo tiossulfato de sódio, em presença de amido como indicador. Desta forma, pode-se dosar a quantidade de peróxido formado no óleo (BRASIL, 2005; Codex Alimentarius, 2005).

c) *Índice de Iodo*

É uma medida do grau de insaturação dos óleos. É determinado pela quantidade de halogênio absorvido e, convencionalmente, é expresso como o peso do iodo absorvido por 100 g de amostra. Os resultados obtidos por este método dependem de fatores tais como: o tempo de contato, a natureza de portadora do iodo (solução utilizada na determinação) e o excesso de iodo, sendo necessário cumprir estritamente as mesmas condições.

Para cada óleo existe um intervalo característico do valor do índice de iodo que também está relacionado com o método empregado na sua determinação. Geralmente, é determinado pelo método Wijs, que usa a solução de tricloreto de iodo, mas pode ser determinado pelo método de Hanus que utiliza brometo de iodo e pelo método de Hubl, que emprega uma solução de iodo e cloreto de mercúrio (AOCS, 1995).

O índice de iodo pode ser determinado também por cálculo aplicando-se a análise de triglicerídeos e de ácidos graxos livres e seus produtos hidrogenados.

Este método determina o índice de iodo de óleos comestíveis diretamente da composição de ácidos graxos insaturados obtidos a partir da análise por cromatografia em fase gasosa (AOCS,1995).

d) Absortividade Molar

A absortividade molar é uma medida espectrofotométrica na região do ultravioleta (UV) que fornece informações sobre a qualidade de um óleo, seu estado de conservação e alterações causadas pelo processamento. A absorção em 232 e 270 nm, especificados no método, é devida a presença de sistemas dienos e trienos conjugados, respectivamente. Estes compostos são formados por oxidação e/ou refino do óleo.

Neste método, o óleo ou gordura em questão é dissolvido em solvente apropriado e a extinção da solução é determinada nos comprimentos de onda especificados, usando como referência o solvente puro. Estas absorções são expressas como extinções específicas (a absorbância de uma solução a 1% do óleo no solvente especificado, numa espessura de 1 cm), convencionalmente indicadas por K (AOCS, 1995).

e) Quantificação de carotenóides totais

Para a quantificação de carotenóides totais a amostra é solubilizada em éter de petróleo e detectada a 450 nm no espectrofotômetro (Rodriguez-Amaya et al., 2004). A concentração de carotenóides totais é calculada de acordo com a equação 1:

$$\text{Carotenóides totais } (\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V(\text{mL}) \times 10^4}{A_{1\text{cm}}^{1\%}(\beta - \text{caroteno}) \times \text{amostra (g)}}$$

Equação 1. Cálculo de carotenóides totais

Onde:

A= Absorbancia da amostra

V= Volume de diluição da amostra no solvente

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = Coeficiente de extinção do β -caroteno a 450 nm em éter de petróleo

f) *Identificação e quantificação do β -caroteno por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)*

Para a identificação e quantificação do β -caroteno por CLAE, é necessário que a amostra passe por um processo de saponificação, visando à remoção de lipídeos e clorofilas, que podem interferir na separação cromatográfica e diminuir a vida da coluna (Rodriguez-Amaya et al., 2004).

Através da análise conjunta do tempo de retenção, espectro de absorção e co-cromatografia com padrões é possível a identificação do pico do β -caroteno. A quantificação é realizada utilizando curva de calibração construída com padrão cromatográfico externo.

g) *Análise de Cor*

Um dos métodos para realizar a análise de cor, é através do colorímetro Tintometer, modelo Lovibond PFx995 automático (AOAC, 2005).

O colorímetro ou tintômetro Lovibond determina com exatidão os valores de cor de uma ampla variedade de líquido e sólido. Esse instrumento analisa cores de amostras sólidas, líquidas ou pastosas por meio da luz transmitida ou refletida. A medida das cores é feita por meio de comparações entre a cor da amostra analisada e a escala de cores Lovibond, que contempla medidas de cor para vermelho, amarelo, azul e neutro, com valores que variam conforme ilustrado no Quadro 11 (França, Santos & Lima, 2007).

Quadro 11. Escala de cores do colorímetro Lovibond.

Cores/Escalas			
Vermelho	Amarelo	Azul	Neutro
0,1 – 70,0	0,1 – 70,0	0,1 – 9,0	0,1 – 3,0

Fonte: França et al. (2007)

h) *Análise de ácidos graxos por cromatografia em fase gasosa*

Por este método, as amostras necessitam passar por um processo de metilação, onde se utiliza um catalisador, normalmente trifluoreto de boro (BF_3), para que ocorra a reação de transesterificação, formando assim os ésteres metílicos de ácidos graxos. Esses componentes podem ser separados, identificados e quantificados através da técnica de cromatografia em fase gasosa (Figura 26).

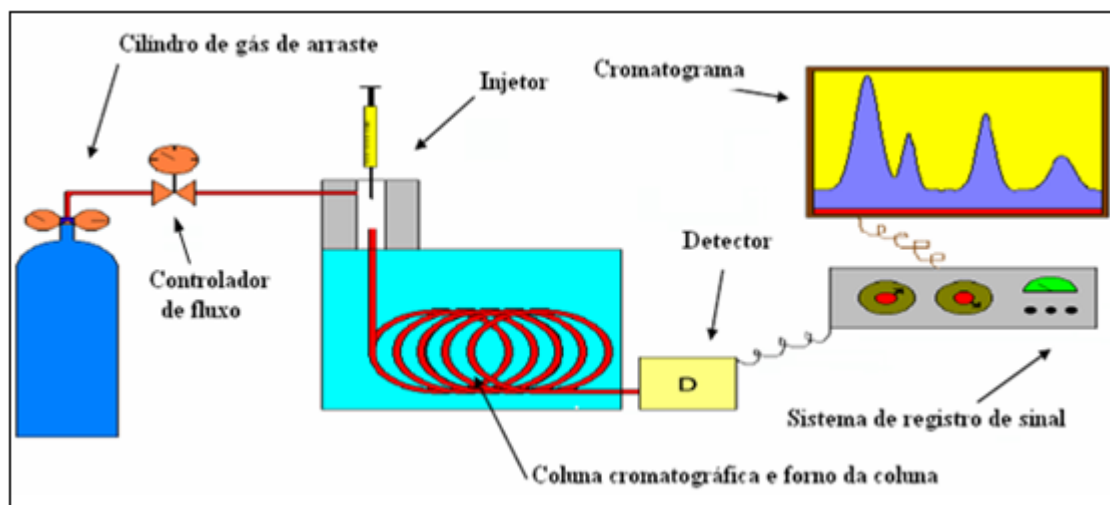


Figura 26. Sistema cromatográfico básico

Fonte: Del Grande (2011)

i) Índices de qualidade nutricional dos lipídeos

A dieta do ser humano é composta por vários fatores que estão diretamente relacionados com a promoção, redução e até mesmo com a incidência de algumas doenças. Dentre estes estão alguns ácidos graxos os quais têm a capacidade de promover ou prevenir a aterosclerose e trombose com base em seus efeitos sobre o colesterol sérico (Barrento, 2010).

Para avaliar a qualidade nutricional dos lipídeos, Ulbricht & Southgate (1991) propuseram os índices de aterogenicidade (IA), trombogenicidade (IT), considerando os diferentes efeitos dos ácidos graxos na saúde humana. Esses índices relacionam os ácidos pró e anti-aterogênicos e indica o potencial de estímulo à agregação plaquetária. Não existem valores recomendados para esses índices, no entanto, quanto menor os valores de IA e IT, maior a quantidade de ácidos graxos anti-aterogênicos presente no óleo e, conseqüentemente, maior o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronárias (Turan, Sonmez & Kaya, 2007).

Para determinação do índice de aterogenicidade (Equação 2), apenas os ácidos graxos saturados com cadeia contendo de 12 a 16 carbonos são considerados aterogênicos, sendo que o ácido mirístico é considerado quatro vezes mais aterogênico do que o ácido láurico e o ácido palmítico. O ácido esteárico, saturado, é omitido em função de não interferir na colesterolemia. Todos os ácidos

graxos insaturados são igualmente eficazes na redução da aterogenicidade (Barrento, 2010; Ramos Filho, Ramos, Hiane & Souza, 2010; Ulbricht et al., 1991).

$$IA = \frac{[(C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0)]}{(\sum AGMI + \sum \omega6 + \sum \omega3)}$$

Equação 2. Cálculo do índice de aterogenicidade

Onde:

IA= Índice de Aterogenicidade

AGMI= Ácidos Graxos Monoinsaturados

Para definir o índice de trombogenicidade (Equação 3), os ácidos mirístico, palmítico e esteárico são considerados pró-trombogênicos, enquanto os ácidos graxos insaturados são admitidos como anti-trombogênicos com diferentes potencialidades (Ramos Filho et al., 2007; Ulbricht et al., 1991).

$$IT = \frac{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}{[(0,5 \times \sum AGMI) + (0,5 \times \sum \omega6 + (3 \times \sum \omega3) + (\sum \omega3 / \sum \omega6))]}$$

Equação 3. Índice de trombogenicidade

Onde:

IT= Índice de Trombogenicidade

AGMI= Ácidos Graxos Monoinsaturados

A razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (H/H) (Equação 4) é outro parâmetro de avaliação nutricional dos lipídeos. Este índice está relacionado com a atividade funcional dos ácidos graxos em relação ao metabolismo do colesterol, cuja quantificação reflete o maior ou menor risco de incidência de doenças cardiovasculares (Santos-Silva, Bessa & Santos-Silva, 2002; Assunção, 2007).

Essa razão considera os ácidos graxos insaturados (oléico, linoléico, araquidônico, linolênico, EPA, DPA, DHA) como potencialmente hipocolesterolêmicos e os ácidos graxos saturados mirístico e palmítico como hipercolesterolêmicos. Desta maneira, quanto maior o índice H/H, mais elevado é o

teor de ácidos graxos hipocolesterolêmicos, sendo mais adequado nutricionalmente o óleo (Santos-Silva et al., 2002; Bentes, Souza, Mendonça & Simões, 2009).

$$HH = \frac{(C18:1cis9 + C18:2\omega6 + C20:4\omega6 + C18:3\omega3 + C20:5\omega3 + C22:5\omega3 + C22:6\omega3)}{(C14:0 + C16:0)}$$

Equação 4. Razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

Onde:

HH= Razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

AGMI= Ácidos Graxos Monoinsaturados

j) Propriedades térmicas de óleos

Análise térmica é definida pela Conferência Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (ICTAC) como “um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física de uma substância e/ou seus produtos de reação é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura” (Haines, 1995). Dentre as análises térmicas, a termogravimetria/termogravimetria derivada (TG/DTG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) são as mais utilizadas para a caracterização de propriedades térmicas.

A termogravimetria é uma técnica que consiste no monitoramento da variação da massa da amostra em função da temperatura e/ou tempo. Esta medida é realizada através da termobalança e registrada na curva termogravimétrica. Através desta curva é possível obter informações como a temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf) de decomposição e o valor da perda de massa da amostra (Wendlandt, 1986; Haines, 1995).

A DSC mede a diferença de energia liberada ou fornecida entre a amostra e um material de referência, termicamente inerte, em função da temperatura, enquanto a amostra e a referência são submetidas a uma rampa de aquecimento. Quando a amostra muda de estado físico ou sofre reação química, ocorre liberação ou absorção de calor. Esta técnica mede as variações de energia térmica para manter em equilíbrio as temperaturas da amostra e do material de referência, durante o evento térmico. As mudanças de energia na amostra, em relação à referência,

ocorrem devido a transições endotérmicas ou exotérmicas devido a processos de decomposição, oxidação e outras reações químicas (Conceição, Sinfrônio, Santos, Silva, Fonseca, & Souza, 2005).

A técnica de DSC permite identificar a temperatura inicial de oxidação (OOT) de óleos e gorduras através do *onset*, fornecendo informações sobre a estabilidade oxidativa, tempo de armazenamento e possíveis aplicações do produto.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

A fim de contribuir para o estabelecimento de empreendimentos comerciais e programas de melhoramento genético, este estudo teve por objetivo caracterizar a variabilidade de frutos de macaúba (*Acrocomia aculeata*) em quatro regiões do estado do Mato Grosso do Sul, quanto aos parâmetros biométricos de frutos, características físico-químicas do óleo de polpa e suas possíveis aplicações.

3.2 Objetivos Específicos (Capítulo 2)

- Caracterizar as palmeiras de macaúba selecionadas para estudo nos biomas Cerrado e Pantanal;
- Avaliar a biometria dos frutos de macaúba coletados em quatro regiões do estado de Mato Grosso do Sul, compreendendo os biomas Cerrado e Pantanal;
- Caracterizar a polpa e amêndoa dos frutos de macaúba, coletados nas diferentes regiões do estado de Mato Grosso do Sul, quanto à umidade e teor de lipídeos;
- Correlacionar parâmetros biométricos e estes com umidade e teor de lipídeos dos frutos de macaúba proveniente do estado de Mato Grosso do Sul;
- Estimar rendimento de óleo de polpa e amêndoa de macaúba para fins comerciais.

3.3 Objetivos Específicos (Capítulo 3)

- Caracterizar a polpa dos frutos de macaúba coletados nos biomas Cerrados e Pantanal, quanto à umidade e teor de lipídeos;
- Avaliar as propriedades físico-químicas do óleo da polpa dos frutos de macaúba coletados no estado de Mato Grosso do Sul;
- Quantificar os carotenóides totais presentes no óleo da polpa de macaúba obtido através dos frutos coletados nas quatro regiões do estado de Mato Grosso do Sul;
- Identificar e quantificar o β -caroteno presente no óleo de polpa da macaúba.

3.4 Objetivos Específicos (Capítulo 4)

- Obter o perfil de ácidos graxos da fração lipídica da polpa de macaúba;
- Identificar o potencial nutricional do óleo de polpa de macaúba provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal;
- Estudar as propriedades térmicas dos óleos de polpa de macaúba, visando fornecer informações sobre a estabilidade oxidativa deste produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, D. F. (2010). 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.

Ambrósio, C. L. B., Campos, F. A. C. S., & Faro, Z. P. (2006). Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. *Revista de Nutrição*, 19, 233-243.

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists*. (18 ed.). Maryland: Gaithersburg.

AOCS. (1995). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. (4 ed.) USA: Champaign, A.O.C.S.

Araújo, J. M. (2003). *Química de alimentos – teoria e prática*. (3 ed.). Viçosa: Editora UFV.

Assunção, J. M. P. (2007). *Contribuição para o estudo da composição lipídica e do valor nutricional de leites e produtos lácteos dos açores*. Dissertação (Mestrado em Controle de qualidade e toxicologia dos alimentos). 113p. Universidade de Lisboa – Faculdade de Farmácia, Lisboa – Portugal.

Balbino, C. A., Souza Junior, A. L., & Tamashiro Filho, P. (2002). Aspectos econômicos dos óleos e das gorduras. In: Cury, R., Pompéia, C., Miysaka, C. K., & Procopio, S. *Entendendo a gordura: os ácidos graxos*. (580 p.) Barueri, SP – Manole.

Barrento, S. I. da S. P. M. (2010). *Nutricional quality and physiological responses to transport and storage of live crustaceans traded in Portugal*. Dissertação (Doutorado em ciência animal – Especialidade Nutrição). 261p. Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, Porto - Portugal.

Basiron, Y. (2005). Palm Oil. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 333-429). New York: Wiley-Interscience.

Belitz, H., & Grosch, W. (1997). *Química de los alimentos*. (2 ed.). Zaragoza: Acribia.

Bentes, A. de S., Souza, H. A. L. de, Mendonça, X. M. F. D., & Simões, M. G. (2009). Caracterização física e química e perfil lipídico de três espécies de peixes amazônicos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 03, 97 – 108.

Berger, K. G., & Hamilton, R. J. (1995). Lipids and oxygen: is rancidity avoidable in practice? In: R. J. Hamilton. *Developments in Oils and Fats*. (pp. 192-204). London: Chapman & Hall.

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

Bobbio, F. O., & Bobbio, P. A. (1992). *Introdução a química dos alimentos*. (2 ed.). São Paulo: Varela.

Botterweck, A. A. M., Verhagen, H., Goldbohm, R. A., Kleinjans, J., & Van den Brandt, P. A. (2000). Intake of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene and stomach cancer risk: results from analyses in the Netherlands Cohort study. *Food and Chemical Toxicology*, 38, 599-605.

Brasil. (1998). Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria n. 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento técnico referente à informação nutricional complementar. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília - DF, 13 de janeiro de 1998.

Brasil. (2002). Ministério do Meio Ambiente. Secretária de Biodiversidade e Florestas. *Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros*. Brasília: MMA/SBF.

Brasil. (2003). Resolução – RDC 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento técnico referente à rotulagem nutricional de alimentos embalados. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília – DF, 26 de dezembro de 2003.

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 de setembro de 2005.

Campos, F. M., & Rosado, G. P. (2005). Novos fatores de conversão de carotenóides pró-vitaminicos A. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25, 571-578.

Canapi, E. C., Agustin, Y. T. V., Moro, E. A., Pedrosa, E., & Benadô Junior, M. L. J. (2005). Coconut Oil. In: F. Shahidi (6 ed.). *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 123-147) New York: Wiley-Interscience.

Cella, R. C. F., Regitano-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.

Cesar, E. (2003). Biodiesel no tanque. (94 ed.). *Pesquisa Fapesp*, São Paulo.

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.

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

Chaves & Mello-Farias. (2008). *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> Acesso em: 13 de setembro de 2011.

Ciconini, C., Favaro, S. P., Souza, C. F. T., Miyahira, M. A. M., Corrêa, A., Plein, G. S., Souza, J. L. C., & Santos, G. P. (2010). 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.

Codex Alimentarius (FAO/WHO). (2005). *Codex Standards for named vegetable oils*, Codex Stan 210 (Amended, 2003, 2005). Roma: Codex Alimentarius.

Collares, D.G., Ferreira, L., & Cabral, J. M. (2009). *Macaúba desperta atenção pelo uso como biodiesel*. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_4/macauaba/index.htm> Acesso em: 30 de agosto de 2011.

Conceição, M. M., Sinfrônio, F. S. M., Santos, J. C. O, Silva, M. C. D.; Fonseca, V. M., & Souza, A. G. (2005). Characterization and kinetic compensation effect of corn biodiesel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 461, 112-117.

Costa, C. F. (2009). *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.

Coutinho, L. M. (2006). O conceito de Bioma. *Acta Botânica Brasílica*, 20, 13-23.

Del Grande, M. (2011). *Cromatografia Gasosa: Princípios Básicos*. Disponível em: <<http://www.cpatc.embrapa.br/eventos/seminariodequimica/1%B0%20Minicurso%20Produ%E7%E3o%20e%20Qualidade%20de%20Biodiesel/cromatografiagasosa.pdf>> Acesso em: 01 de outubro de 2011.

Domingues, M. A. F. (2008). *Qualidade lipídica da carne de frangos alimentados com ração contendo farelo de coco*. Dissertação (Mestrado em tecnologia de alimentos). 67p. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE.

Fagundes, L. A. (2002). *Ômega-3 & ômega-6 – O equilíbrio dos ácidos gordurosos essenciais na prevenção de doença*. Porto Alegre: Ed. Age Ltda.

Faria, L. A. (2010). *Hidrólise do óleo da amêndoa da macaúba com lipase extracelular de Colletotrichum gloesporioides produzidas por fermentação em substrato líquido*. Dissertação (Mestrado em Ciência de alimentos). 146p. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG.

Felfini, J. M., Carvalho, F. A., & Haidar, R. F. (2005). *Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal*. Brasília: Universidade de Brasília - Departamento de Engenharia Florestal.

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

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

França, S. C. A., Santos, S. F., & Lima, S. R. M. de. (2007). Ensaio para medida de cor em colorímetros Lovibond e ASTM. *Comunicação técnica elaborada para o livro Tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais*. Rio de Janeiro: Centro de tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerais.

Gómez-Pinõl, J. M., & Boronat, M. C. de la T. (1989). Influencia de la tecnologia em nutritivo de los alimentos: lípidos. *Alimentaria*, 204, 15-21.

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

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

Guedes, A. M. M. (2006). *Estudo da extração de óleo da polpa de tucumã por CO₂ supercrítico*. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos). 78p. Universidade Federal do Pará, Belém – PA.

Gunstone, F. D. (2005). Vegetables oils. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products* (pp. 213-267). New York: Wiley-Interscience.

Haines, P. J. (1995). Thermal methods of analysis: principles, applications and problems (5 ed). Oxford: Chapman & Hall.

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

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

Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., & Macedo, M. L. R. (2005). Bocaíuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. *Brazilian Journal of Food Technology*, 8, 256-259.

Huang, C.L., & Sumpio, B.E. (2008). Olive oil, the Mediterranean diet and cardiovascular health. *Journal of the American College of Surgeons*, 207, 407–416.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2004). *Mapas de Biomas do Brasil: Primeira aproximação*. Rio de Janeiro: IBGE.

IUPAC. (1979). International Union of Pure and Applied Chemistry. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. 6a ed. Oxford, IUPAC.

Klink C. A., & Machado R. B. (2005). Conservation of the brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, 19, 707-713.

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.

Laviola, B. G. (2009). Biodiesel e sustentabilidade. In: *I Congresso Nacional de Direito Agrário*. São Paulo - SP.

Lima, A., Silva, A. M. O., Trindade, R. A., Torres, R. P., & Mancini-Filho, J. (2007). Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29, 695-698.

Lin, S. W., & Huey, S. M. (2009). High oleic enhancement of palm olein via enzymatic interesterification. *Journal of Oil Science*, 58, 549-555.

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

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

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

Marques, A. C., Valente, T. B., & Rosa, C. S. (2009). Formação de toxina durante o processamento de alimentos e as possíveis consequências para o organismo humano. *Revista de Nutrição*, 22, 283-293.

Martin, C. A., Almeida, V. V., Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L., Matshushita, M., Souza, N. E., & Visentainer, J. V. (2006). Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. *Revista de Nutrição*, 19, 761-770.

Meerow, A. W. (1991). *Palm seed germination (Bulletin 274)*. Flórida: Cooperative extension service.

Mielke, T. (2010). Market outlook for sustainable palm oil. In: *A 2-day conference on Palm Oil and Sustainability: The Case of Thailand at GTZ House in Berlin*.

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/publicacoes.html. Acesso em 26 de setembro de 2011.

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

Motoike, S. Y., Carvalho, M., Lopes, F. A. de, & Couto, F. A. A. Produção de mudas de macaúba. *Boletim Técnico (Acrotech)*. Disponível em: http://www.acrotech.com.br/arquivos_internos/publicacoes/PRODUCAODEMUDAS_DEMACAUBA.pdf> Acesso em: 27 de setembro de 2011.

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

Moura, E. F. (2007). *Embriogênese somática em macaúba: indução, regeneração e caracterização anatômica*. Dissertação (Especialização em Genética e Melhoramento). 66p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Nassu, R. T., & Gonçalves, L. A. G. (1994). Avaliação de Parâmetros térmicos de óleo de palma e seus derivados por calorimetria diferencial de varredura (DSC). *Química Nova*, 17, 312-316.

NCEP - National Cholesterol Education Program. (2002). Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*, 106, 3143-3421.

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

New World Fruits (2006). In: S. M. Nucci. (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 Agronômico, São Paulo.

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 Agronômico, Campinas - SP.

Nunes, A. P., & Tomas, W. M. (2004). Análise preliminar das relações biogeográficas da avifauna do Pantanal com biomas adjacentes. In: *IV Simpósio sobre recursos naturais e sócio econômicos do Pantanal: Sustentabilidade Regional*. Corumbá: Embrapa-Pantanal.

Nunes, S. P. (2007). *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%C3%B3leos%20vegetais.pdf>> Acesso em: 25 de setembro de 2011.

Osaka, M., & Batalha, M. O. (2008). 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.

Osawa, C. C., Gonçalves, L. A. G., & Ragazzi, S. (2006). Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. *Química Nova*, 29, 593-599.

Paucar-Menacho, L. M., Silva, L. H., Sant'ana, A. de S., & Gonçalves, L. A. G. (2007). Refino de óleo de farelo de arroz (*Oriza sativa* L.) em condições brandas para preservação do γ -orizanol. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27, 45-53.

Potencialidades industriais do fruto da macaúba, palmeira nativa do Cerrado. (2011). [Editorial]. *A lavoura*. Disponível em: <<http://www.sna.agr.br/artigos/682/ALAV682-macauaba.pdf>> Acesso em: 30 de agosto de 2011.

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

Primavesi, O. (2007). *Emissão de metano pelo rebanho bovino em debate*. Portal Conpet - Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/noticias/jnoticia.php?segmento=&id_noticia=1115> Acesso em: 25 de setembro de 2011.

Przybylski, R., Mag, T., Eskin, N. A. M., & 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.

Ramalho, V. C., Jorge, N. (2006). Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. *Química Nova*, 29, 755-760.

Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., Hiane, P. A., Souza, E. M. T. (2010) Nutritional value of seven freshwater fish species from the brazilian pantanal. *Journal of American Oil Chemistry Society*, 87, 1461-1467.

Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., & Siqueira, E. M. A. (2008). Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 90-94.

Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., & Arruda, S. F. (2007). Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood) improved vitamin A status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22, 3186-3190.

Ramos, M. I. L., Umaki, M. C. S., Hiane, P. A., & Ramos Filho, M. M. (2001). Efeito do cozimento convencional sobre os carotenóides pró-vitamínicos "A" da polpa de piqui (*Caryocar brasiliense* Camb). *Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos*, 19, 23-32.

Ratter, J. A., Bridgewater, S., & Ribeiro, J. F. (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60, 57-109.

Regitano-D'arce, M. A. B. (2006). Deterioração de lipídeos - Ranço. In: Oetterer, M., Regitano-D'arce, M. A. B., Spoto, M. H. F., *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. (pp. 243-295). Barueri, SP: Manole.

Rekson, A. O. (2007). *Avaliação da composição em ácidos graxos de margarinas e creme vegetal zero trans comercializados no estado do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos). 107p. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ.

Remédios, C. M. R., Nunes, E. C. de B., Cabral, A. J. de F., Del Nero, J., Alcantara Júnior, P., & Moreira, S. G. C. (2006). Estudo espectroscópico de óleos derivados de frutos da palma. In: *17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais*. Foz do Iguaçu – PR.

Ribeiro, A. P. B., Moura, J. M. L. N., Grimaldi, R., & Gonçalves, L. A. G. (2007). Interesterificação Química: Alternativa para Obtenção de Gorduras Zero Trans. *Química Nova*, 30, 1295-1300.

Ribeiro E. P., & Seravalli E. A. G. (2004). *Química de Alimentos*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.

Rodriguez-Amaya, D. B. (2002). Brazil: a bounty of carotenoid sources. *Sight and Life Newsletter*, 4, 3-9.

Rodriguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. (2004). *HarvestPlus Handbook for carotenoid analysis*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; Cali: International Center for Tropical Agriculture (Technical Monograph 2).

Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., & Amaya-Farfan, J. (2008). *Fontes Brasileiras de carotenóides: Tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos*. Brasília: MMA/SBF.

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*, 16, 48-59.

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

Rupollo, G., Gutkoski, L. C., Marini, L. J., & Elias, M. C. (2004). Sistemas de armazenamentos herméticos e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. *Ciência Rural*, 34, 1715-1722.

Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77, 187 – 194.

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

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

Scrimgeour, C. (2005). Chemistry of fatty acids. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 01-43). New York: Wiley-Interscience.

SEAPA – Secretária de estado de agricultura, pecuária e abastecimento de Minas Gerais. (2011). *Cultivo de macaúba em minas atrai investidores*. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/noticias/1770-cultivo-de-macauaba-em-minas-atrai-investidores>> Acesso em: 30 de setembro de 2011.

Sherwin, E. R. (1978). Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. *Journal American Oil Chemists' Society*, 55, 809-814.

Silva, F. A. M., Borges, M. F. M., & Ferreira, M. (1999). Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. *Química Nova*, 22, 94-103.

Silva, I. C. C. (2009). *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.

Silva, P. (2006). *Farmacologia*. (7 ed.). Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan.

Simopoulos, A. P. (2004). Ômega-6/Ômega-3 essential fatty acid ration and chronic diseases. *Food Reviews International*, 20, 77-90.

Souto, C. R. O., & Duarte, H. C. (2006). *Química da Vida*. Natal: EDUFRN.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. (2006). Livestock, s role in climate change and pollution. In: *Livestock, s long Shadow: environmental Issues and options*. (pp. 79-123). Rome:FAO.

Stork Biodiesel. *O que é o biodiesel?* Curitiba. Disponível em: <www.stork.com.br/index3.htm> Acesso em 26 de setembro de 2011.

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.

Thurnham, D. I. (2007). Bioequivalence of β -carotene and retinol. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 8, 13-39.

Turan, H., Sonmez, G., & Kaya, Y. (2007). Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *Journal of Fisheries Sciences*, 01, 97-103.

Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985 – 992.

Universidade Federal de Viçosa – UFV (Viçosa – MG). Adauto Quirino de Sá Junior, Francisco de Assis Lopes, Mychelle Carvalho, Márcio Antônio da Rocha Oliveira & Sérgio Yoshimitsu Motoike. *Processo de germinação e produção de sementes pré-germinadas de palmeiras do gênero Acrocomia*. BR nº PI 0703180-7 A2, 20 de julho de 2007, 10 de março de 2009.

Voet, D., Voet, G. J., & Pratt, C. W. (2002). *Fundamentos de Bioquímica*. Porto Alegre: Artmed.

Weiss, L. A., Barrett-Connor, E., & Muhlen, D. V. (2005). Ratio of n-6 to n-3 fatty acids and bone mineral density in older adults: the Rancho Bernardo Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 934-8.

Wendlandt, W. W. (1986). *Thermal Analysis*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, 58 (5).

Zago Neto, O. G., & Del Pinto, J. C. (2011). *Trabalhando a química dos sabões e detergentes*. Disponível em:
<<http://www.iq.ufrgs.br/aeq/html/publicacoes/matdid/livros/pdf/sabao.pdf>> Acesso
em: 15 de setembro de 2011.

CAPÍTULO 2

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Industrial Crops and Products
(www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/522825/authorinstructions)

Teor de lipídeos e biometria de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal em Mato Grosso do Sul, Brasil

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade de aspectos físico-químicos em populações de macaúba, visando gerar informações que subsidiem exploração de maciços naturais, bem como cultivos racionais e programas de melhoramento genético em Mato Grosso do Sul. Os frutos foram coletados em quatro regiões, sendo duas amostragens provenientes do bioma Cerrado, Campo Grande e São Gabriel do Oeste, e duas do bioma Pantanal, Aquidauana e Corumbá. Foram estabelecidas correlações entre os parâmetros avaliados (biometria, umidade e teor de lipídeos), além de estimativas de rendimento de óleo de polpa e amêndoa de macaúba e co-produtos. As características das árvores selecionadas e os parâmetros biométricos de frutos de macaúba apresentaram alta diversidade intra e inter-regional. O teor de lipídeos na polpa apresentou valores homogêneos entre as regiões, com média de 25,07% em base seca. No entanto, alta variabilidade foi observada dentro de cada local amostrado. As plantas oriundas de Corumbá caracterizaram-se por apresentar frutos pequenos com maior porção comestível e teor lipídico na amêndoa. São Gabriel do Oeste apresentou os maiores frutos, porém com menores concentrações e rendimento por planta de óleo de polpa e amêndoa. A quantidade de frutos presente no cacho apresentou tendência de correlação inversa com a massa individual dos frutos. O teor de água mostrou-se elevado nos frutos de macaúba, variando de 49,06 a 63,00% na polpa e de 15,53 a 20,19% na amêndoa. Os frutos de ocorrência em Campo Grande caracterizam-se pela maior produção de óleo de polpa. Considerando uma densidade populacional de 1000 palmeiras de macaúba, estima-se produção total de óleo (polpa + amêndoa) variando de 1780 a 3915 kg/ha. Cultivos comerciais utilizando genótipos das regiões amostradas no Mato Grosso do Sul resultariam na obtenção da metade da quantidade de óleo descrita na literatura para esta espécie em outras regiões do Brasil.

Palavras-Chave: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood, polpa, amêndoa, característica fenotípica, óleo

ABSTRACT

This work aimed to assess the variability of physical chemical aspects of the macaúba from state of Mato Grosso do Sul, Brazil, in order to provide information to subsidize the exploitation of native plants and commercial plantations, besides breeding programs. The fruits were collected in four areas into the state, two from Cerrado biome (Campo Grande and São Gabriel do Oeste), and two from Pantanal biome (Aquidauana and Corumbá). Correlations were established between the evaluated parameters (biometry, moisture and lipid content). Yields of pulp and kernel oil were estimated, as well as co-product. The characteristics of the evaluated trees and the biometric parameters of macaúba fruit showed high diversity within and among regions. The lipid content of the pulp were similar among the regions, with an average of 25.07% on dry basis. On the other hand, the lipid content presented high variability within the sampled areas. The plants from Corumbá presents smaller fruits with a higher edible portion and lipid content in the kernel. São Gabriel do Oeste showed the biggest fruits, although with lower concentrations and yield per plant of pulp and kernel oil. The number of fruits in the bunch has an inverse correlation with the mass of individual fruits. The water content of the fruits of macaúba ranging from 49.06 to 63.00% in the pulp and from 15.53 to 20.19% in the kernel. The highest oil yield was observed in the fruits from Campo Grande. Considering a population density of 1000 of plants/ha an estimated total production of oil (pulp + kernel) ranged from 1780 to 3915 kg/ha. Commercial cultivation using genotypes of the regions sampled in Mato Grosso do Sul would result in getting half amount of oil described in the literature for this species in other regions of Brazil.

Keywords: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood, pulp, kernel, oil, phenotypic characteristic

1. Introdução

A espécie *Acrocomia aculeata*, conhecida popularmente como macaúba ou bociuva, é uma palmeira de ampla distribuição geográfica, estendendo-se do México à Argentina (Cetec, 1983). No Brasil, é considerada a palmeira de maior dispersão, com ocorrência em maciços nativos em quase todo território brasileiro, com elevadas concentrações nos biomas Cerrado e Pantanal.

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro, apresenta clima seco e solo pobre em nutrientes (Klink & Machado, 2005). Já o Pantanal, bioma de menor extensão, identifica-se por períodos de alagamentos (Schessl, 1999). As características edafoclimáticas contrastantes destes ambientes demonstram que a macaúba é uma espécie com alta capacidade de adaptação, destacando-se sua baixa necessidade hídrica e resistência a queimadas.

Essa planta pode ser utilizada para diferentes fins, como as folhas na alimentação animal, os frutos na nutrição humana e o endocarpo e a casca como biomassa. No município de Corumbá, região pantaneira do estado de Mato Grosso do Sul, tradicionalmente é produzida a farinha da polpa de macaúba para ser utilizada na fabricação de sorvetes, bolos, etc.

Com a crescente demanda de óleos no mundo, tanto para a alimentação como para produção de biodiesel e indústria óleo-química, fazem-se necessários estudos com novas oleaginosas que apresentem alta densidade energética. A macaúba é uma das principais espécies com alto potencial para o fornecimento de óleo, podendo chegar a produzir dez vezes mais óleo por hectare/ano do que a soja. Esse índice pode aumentar através de programas de melhoramento genético e cultivo racional (Roscoe et al., 2007).

O sistema de cultivo agrossilvipastoril, no qual a macaúba pode ser explorada, confere maior sustentabilidade a esta cadeia produtiva, uma vez que agrega renda continuamente através de diversos produtos.

Assim como a palma de óleo (*Elaies guineensis*) cultivada na faixa equatorial (Basiron, 2005), a macaúba produz dois tipos de óleo economicamente importantes: da polpa e da amêndoa. O óleo de polpa da macaúba apresenta coloração laranja intensa, sendo caracterizado pela presença de carotenóides e altas concentrações de ácido oléico (Hiane et al., 2005; Ramos et al., 2007). Da amêndoa se extrai um

óleo transparente com predominância de ácido láurico e oléico (Amaral et al., 2011; Hiane et al., 2005).

Os óleos da polpa e amêndoa de macaúba podem ser utilizados em diferentes setores, como nas indústrias cosméticas, farmacêuticas, alimentícias e na produção de biocombustíveis. Os co-produtos gerados a partir da extração do óleo são aproveitados de forma integral, principalmente na nutrição animal e co-geração de energia.

Variabilidade nas características fenotípicas dos frutos de macaúba tem sido observada em maciços nativos desta palmeira e que podem resultar em rendimentos e características de óleo bastante distintas. Desta maneira, objetivou-se avaliar a diversidade entre populações de macaúba, de ocorrência nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, quanto à biometria, umidade e teor de óleo dos frutos, além de estabelecer correlações entre os parâmetros estudados e estimar o rendimento de óleo de polpa e amêndoa. O conhecimento dessa diversidade é de grande importância para prever o potencial produtivo das populações de macaúba no estado de Mato Grosso do Sul e para seleção de frutos com alta qualidade de óleo, visando programas de melhoramento genético e futuros empreendimentos comerciais.

2. Material e métodos

2.1 Material

Cachos inteiros de macaúba contendo frutos maduros, indicados pelo início do desprendimento dos mesmos, foram coletados em quatro regiões do estado do Mato Grosso do Sul (MS). Duas regiões correspondem ao bioma Cerrado, Campo Grande (Latitude: S 20°25.510' Longitude: O 54°58.122') e São Gabriel do Oeste (Latitude: S 19°38.272' Longitude: W 54°22.099'), e duas ao bioma Pantanal, Corumbá (Latitude: S 19°17.589 Longitude: W 57°64.217) e Aquidauana (Latitude: S 20°32.634' Longitude: W 55°33.258') (Figura 1).

Dez árvores de macaúba foram amostradas casualizadamente em cada região do estudo, sendo retirado um cacho de cada planta para as avaliações. Na região de São Gabriel do Oeste só foi possível analisar oito árvores, visto que os frutos de dois indivíduos apresentavam-se impróprios para utilização.

A coleta e observação das plantas foram realizadas entre os meses de novembro/2010 a janeiro/2011, sendo determinadas as coordenadas de todas as árvores com auxílio de GPS (Global Positioning System).



Figura 1. Regiões de coleta de frutos de macaúba nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul (MS), Brasil

2.2 Aspectos gerais da palmeira macaúba

As palmeiras selecionadas para a coleta dos frutos de macaúba foram avaliadas quanto à presença de espinhos aderidos ao estipe; diâmetro do estipe à altura do peito; número de cachos; número de frutos por cacho; comprimento do cacho e massa dos frutos.

2.3 Biometria dos frutos de macaúba

Foram selecionados 10 frutos aleatoriamente de cada indivíduo das quatro regiões avaliadas para determinação das características biométricas: massa do

fruto, massa do epicarpo (casca), massa do mesocarpo (polpa), massa do endocarpo e massa da amêndoa determinadas em balança analítica (Bel Engineering, Série Mark); diâmetro vertical e diâmetro horizontal, medidos com paquímetro digital (Zaas Precisiom, 150 mm).

Os frutos foram descascados e despulpados manualmente com o auxílio de faca de aço inoxidável. O endocarpo foi quebrado utilizando martelo para a obtenção das amêndoas.

2.4 Umidade e teor de lipídeos da polpa e amêndoa de macaúba

A umidade da polpa e amêndoa de macaúba foi determinada de acordo com o método descrito pela AOAC (2005).

O teor de lipídeo presente na polpa e amêndoa de macaúba foi determinado através da técnica de ressonância magnética nuclear (RMN) de baixo campo, realizada em um espectrômetro de bancada, marca Spinlock Magnetic Resonance Solutions, modelo SLK 100.

2.5 Estimativas de produção de macaúba

Foi determinado a quantidade de frutos (Equação 1) e massa total de frutos (Equação 2) por árvore de macaúba. O rendimento teórico de óleo de polpa e amêndoa de frutos de macaúba foi calculado de acordo com a equação 3 e 4, respectivamente.

$$QTF = A \times B$$

Equação 1. Cálculo do total de frutos por árvore de macaúba

Onde:

QTF = Quantidade total de frutos por árvore de macaúba

A = Quantidade de frutos presente em um cacho

B = Quantidade de cachos presente na árvore

$$MTF = MF \times B$$

Equação 2. Cálculo da massa total de frutos por árvore de macaúba

Onde:

MTF= Massa total de frutos por árvore de macaúba (Kg)

MF= Massa total de frutos presente em um cacho (Kg)

B= Quantidade de cachos presente na árvore

$$RP = MF \times M \times L \times D$$

Equação 3. Cálculo do rendimento de óleo de polpa de macaúba

Onde:

RP= Rendimento de óleo de polpa de macaúba por hectare (Kg)

MF= massa total de frutos por planta (Kg)

M= % de mesocarpo (polpa) em relação ao fruto inteiro (g polpa/100g fruto)

L= % de lipídeos presente na polpa (base seca) (g lipídeos/100g polpa)

D= número de plantas por hectare

$$RA = MF \times A \times L \times D$$

Equação 4. Cálculo do rendimento de óleo de amêndoa de macaúba

Onde:

RA= Rendimento de óleo de amêndoa de macaúba por hectare (Kg)

MF= massa total de frutos por planta (Kg)

A= % de amêndoa em relação ao fruto inteiro (g amêndoa/100g fruto)

L= % de lipídeos presente na amêndoa (base seca) (g lipídeos/100g amêndoa)

D= número de plantas por hectare

3. Resultados e Discussão

As árvores de macaúba apresentam estipes com características distintas. Nos biomas, Cerrado e Pantanal, foi observado estipe liso, com pecíolos e com e sem espinhos na região dos internós (Figura 2). A presença de espinhos foi verificada apenas nas regiões do Pantanal, ocorrendo 30% em Corumbá e 70% em Aquidauana. Deve-se ressaltar que os espinhos podem ou não estarem presentes em função da idade da planta e não somente como uma expressão genética. Os

espinhos aderidos ao estipe é uma característica indesejável por dificultar o manejo da planta, sobretudo na operação de colheita. Deste modo, genótipos ausentes de espinhos são desejados.



Figura 2. Aspectos de estipes de macaúba. Estipe com (A) e sem espinhos (B)

O menor diâmetro de estipe foi encontrado na região de Aquidauana e o maior na região de Corumbá, ambas localizadas no bioma Pantanal (Tabela 1). O diâmetro das plantas está associado à idade, condições edafoclimáticas e expressão genética. Portanto, a avaliação isolada deste parâmetro tem como propósito apenas uma caracterização geral das plantas amostradas.

O número de cachos por palmeira, o comprimento do cacho e a quantidade e massa total dos frutos por cacho apresentaram elevada variabilidade intra-regional. A palmeira com maior número de cachos foi encontrada em Campo Grande, apresentando treze cachos. O comprimento máximo do cacho foi observado em uma

árvore da região de Aquidauana (99 cm) e a massa total dos frutos presente no cacho obteve maior valor na região de São Gabriel do Oeste (9,32 kg) (Tabela 1).

Tabela 1. Características biométricas e de produção de macaúba de ocorrência nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Região	Planta	Diâmetro do estipe (cm)	Nº de cacho	Comprimento do cacho (cm)	Massa dos frutos/ cacho (Kg)	Quantidade frutos/ cacho	Quantidade frutos/ planta**	Massa dos frutos/ planta** (Kg)	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	73	5	60	4,40	97	485	22,00
		2	69	4	63	6,38	104	416	25,52
		3	85	1	68	6,56	264	264	6,56
		4	58	4	87	8,23	470	1880	32,92
		5	63	13	65	3,57	171	2223	46,41
		6	72	7	77	8,69	290	2030	60,83
		7	69	8	61	2,11	93	744	16,88
		8	87	8	97	4,02	150	1200	32,16
		9	74	1	91	6,36	156	156	6,36
		10	93	2	73	2,78	150	300	5,56
		Média	74,30	5,30	74,20	5,31	194,50	969,80	25,52
	EPM*	3,47	1,19	4,22	0,71	37,09	253,37	5,77	
	São Gabriel do Oeste	1	108	1	87	6,65	137	137	6,65
		2	67	1	53	9,20	223	223	9,20
		3	77	3	76	5,82	186	558	17,46
		4	67	2	60	1,97	44	88	3,94
		5	85	1	74	9,32	158	158	9,32
		6	78	2	71	7,67	177	354	15,34
		7	89	5	73	7,57	149	745	37,85
		8	71	5	72	2,07	59	295	10,35
		Média	80,25	2,50	70,75	6,28	141,63	319,75	13,76
		EPM*	4,86	0,60	3,63	1,02	21,77	80,40	3,77
Bioma Pantanal		Corumbá	1	100	5	66	3,52	96	480
	2		88	4	56	4,68	290	1160	18,72
	3		77	2	53	3,82	224	448	7,64
	4		63	8	59	4,06	296	2368	32,48
	5		112	2	45	4,06	295	590	8,12
	6		81	6	65	3,27	247	1482	19,62
	7		66	5	50	3,27	260	1300	16,35
	8		79	2	52	7,22	458	916	14,44
	9		180	2	64	5,87	336	672	11,74
	10		71	4	56	4,36	347	1388	17,44
	Média		91,70	4,00	56,60	4,41	284,90	1080,40	16,41
	EPM*		10,90	0,65	2,19	0,39	29,46	187,47	2,23
	Aquidauana	1	59	2	77	2,87	176	352	5,74
		2	73	1	77	2,54	95	95	2,54
		3	88	3	78	5,67	225	675	17,01
		4	76	5	93	6,72	247	1235	33,60
		5	55	1	66	3,53	293	293	3,53
		6	68	3	74	5,72	293	879	17,16
		7	64	5	60	3,47	261	1305	17,35
		8	63	7	79	5,41	255	1785	37,87
		9	81	5	99	3,71	143	715	18,55
		10	70	1	62	4,62	318	318	4,62
Média		69,70	3,30	76,50	4,43	230,60	765,20	15,80	
EPM*		3,20	0,67	3,92	0,44	22,68	170,57	3,90	

* Erro padrão da média ** Estimativa calculada de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente

Para melhor visualização das massas dos frutos, tomou-se o intervalo entre a maior e menor dimensão e dividiu-se por quatro gerando-se distribuição em grupos (Figura 3). A menor massa do fruto individual de macaúba foi identificada na região de Corumbá, 12,74 g, enquanto a maior massa foi observada na região de São

Gabriel do Oeste, 57,45 g. Frutos de Esmeralda, Minas Gerais, demonstram valores superiores ao observado neste estudo, chegando a apresentar massa média de até 66 g (Cetec, 1983).

Os frutos das regiões de Campo Grande, Corumbá e Aquidauana obtiveram massa predominante no intervalo de 12,00 a 23,50 g, com distribuição distinta. A maior homogeneidade na massa dos frutos foi observada em Corumbá, 90%, seguida de Aquidauana, 60%, e Campo Grande, 50%.

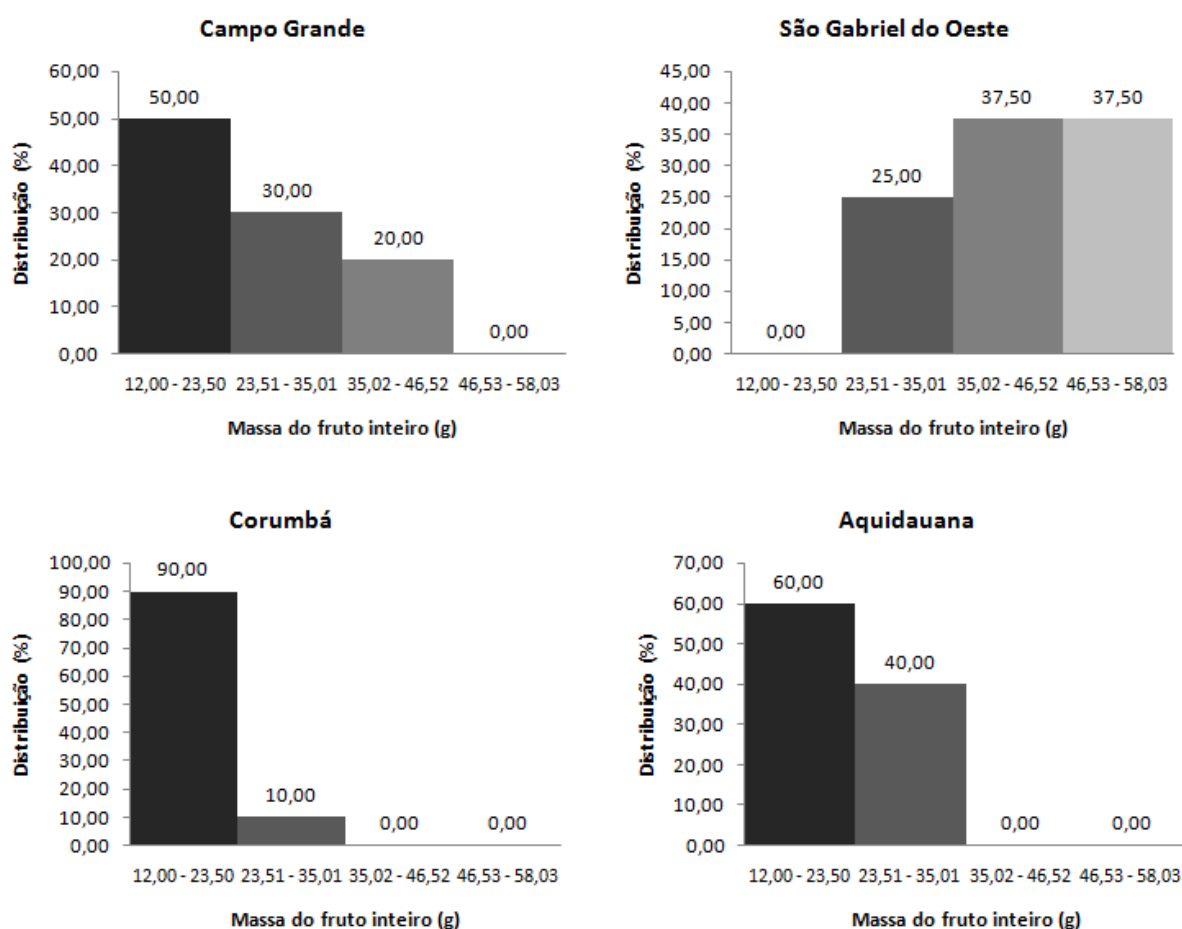


Figura 3. Distribuição de massa do fruto inteiro de macaúba de ocorrência nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

A região de São Gabriel do Oeste caracterizou-se por apresentar frutos com maior massa, prevalecendo entre os intervalos de 35,02 a 46,52 g e 46,53 a 58,03 g (Figura 3). Manfio et al. (2011) estudando 145 subamostras de macaúbas coletadas

nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Pará, Maranhão e Pernambuco, obtiveram média na massa dos frutos de 32,12 g.

Não foi observado no bioma Pantanal frutos com massa superior a 35,01 g. O bioma Cerrado apresentou maior variação em relação à distribuição da massa dos frutos. Somente a região de São Gabriel do Oeste atingiu massa de frutos no intervalo de 46,53 a 58,03 g e não apresentou frutos na faixa de 12,00 a 23,50 g. Esta região caracteriza-se por apresentar frutos grandes, enquanto as regiões do bioma Pantanal os frutos pequenos ocorrem em maior abundância.

As dimensões, diâmetro vertical e horizontal, dos frutos inteiros de macaúba apresentaram razões baixas, menores que 1,5, demonstrando que os frutos se aproximam de formato cilíndrico em todas as regiões. A região de São Gabriel do Oeste apresentou frutos com maior dimensão, enquanto Corumbá caracterizou-se por frutos menores (Tabela 2).

A uniformidade na massa e nas dimensões individuais dos frutos facilita o desenvolvimento de equipamentos para o processamento industrial da macaúba. As variações observadas nestes frutos podem ser decorrentes de fatores genéticos e condições ambientais. A disponibilidade de água, temperatura, períodos de secas e alagamentos podem influenciar no desenvolvimento do fruto.

A proporção de epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa em relação ao fruto inteiro de macaúba apresentam variação entre as regiões amostradas (Tabela 2). A variabilidade na composição do fruto também foi observada em diferentes regiões de Minas Gerais (Cetec, 1983).

O fruto de macaúba é um alimento consumido, principalmente, na sua forma *in natura*. Desta maneira, estimar a porção comestível contribui para gerar informações sobre o seu aproveitamento. O mesocarpo (polpa) e a amêndoa formam a porção comestível do fruto de macaúba.

A região de Corumbá, bioma Pantanal, embora tenha apresentado frutos com menor diâmetro e massa, caracterizou-se pela maior porção comestível de macaúba (58,46%), seguido por Aquidauana (53,44%), Campo Grande (52,72%) e São Gabriel do Oeste (50,24%). Ramos et al. (2008) trabalhando com macaúbas provenientes de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, demonstraram porção comestível de 48,02%, valor inferior a encontrada na mesma região por este estudo.

A macaúba fornece dois tipos de óleo, obtidos a partir das porções comestíveis do fruto. Pode-se extrair óleo da polpa e óleo da amêndoa, com

características distintas. Estes lipídeos podem ser aplicados em diferentes segmentos, como nas indústrias cosméticas, farmacêuticas, alimentícias e na produção de biodiesel.

Tabela 2. Biometria e porção relativa de epicarpo, mesocarpo, endocarpo e amêndoa em relação aos frutos inteiros de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Região	Planta	Diâmetro Vertical (mm)	Diâmetro Horizontal (mm)	Epicarpo (%)	Mesocarpo (%)	Endocarpo (%)	Amêndoa (%)	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	40,60	38,60	17,26	52,93	25,52	4,29
		2	38,51	36,26	17,76	58,48	21,30	2,46
		3	35,10	33,30	16,25	39,05	34,59	10,11
		4	30,70	29,30	17,55	50,32	24,29	7,84
		5	34,37	33,40	22,22	48,51	25,81	3,47
		6	38,11	37,11	21,21	49,20	26,67	2,92
		7	33,00	31,60	22,36	40,32	32,98	4,33
		8	35,90	35,20	22,04	47,68	24,93	5,35
		9	43,90	39,90	23,79	50,66	22,13	3,43
		10	34,55	31,47	25,95	41,45	28,18	4,42
		Média	36,47	34,61	20,64	47,86	26,64	4,86
	EPM*	1,22	1,07	1,02	1,91	1,35	0,75	
	São Gabriel do Oeste	1	45,07	44,78	21,53	55,20	19,97	3,31
		2	47,92	41,71	21,61	40,36	31,77	6,27
		3	38,99	35,44	19,59	40,81	32,47	7,13
		4	46,05	42,32	19,69	48,35	26,81	5,15
		5	50,96	47,83	16,24	45,28	32,63	5,85
		6	46,26	40,39	18,24	42,12	34,09	5,55
		7	46,65	44,70	18,94	47,68	28,31	5,07
		8	40,20	38,47	20,69	39,03	35,47	4,81
		Média	45,26	41,95	19,57	44,85	30,19	5,39
		EPM*	1,39	1,38	0,63	1,91	1,77	0,40
Bioma Pantanal		Corumbá	1	37,06	35,00	14,89	59,87	20,89
	2		31,98	29,87	21,69	53,13	20,09	5,09
	3		31,99	30,19	19,58	44,35	28,61	7,47
	4		29,26	27,77	16,41	55,80	21,59	6,20
	5		28,74	28,32	19,41	53,06	21,43	6,10
	6		28,69	27,76	17,31	55,38	21,77	5,54
	7		30,02	28,15	17,08	43,59	22,49	9,43
	8		32,11	30,78	15,52	57,15	21,56	5,78
	9		30,95	30,37	20,48	45,41	25,62	8,49
	10		28,49	27,82	17,11	44,84	28,86	9,19
	Média		30,93	29,60	17,95	51,26	23,29	6,76
	EPM*		0,82	0,71	0,71	1,93	1,02	0,56
	Aquidauana	1	30,14	29,47	18,89	46,71	29,27	5,13
		2	36,27	35,39	20,11	42,89	31,92	5,08
		3	34,68	32,04	19,34	44,67	29,55	6,44
		4	40,53	35,46	18,85	56,13	20,92	4,09
		5	32,18	27,84	17,46	46,36	30,22	5,95
		6	32,77	32,03	14,25	49,85	29,53	6,37
		7	31,50	28,06	18,90	51,29	25,07	4,74
		8	35,57	31,84	19,01	45,63	30,36	5,00
		9	36,25	35,19	17,90	51,94	25,40	4,75
		10	31,04	29,25	21,88	46,06	26,73	5,33
Média		34,09	31,66	18,66	48,15	27,90	5,29	
EPM*		1,00	0,94	0,62	1,28	1,05	0,24	

* Erro Padrão da Média

As frações de epicarpo (casca) e endocarpo corresponderam em conjunto proporções de 40,86 a 49,42%. Estes dois constituintes dos frutos de macaúba podem ser utilizados para geração de biomassa e na produção de carvão ativado,

no caso do endocarpo. Silva et al. (1986) verificaram que o carvão produzido a partir do endocarpo de macaúba é superior ao carvão de madeira de eucalipto para o uso em operações metalúrgicas, siderúrgicas e uso doméstico.

Para programas de melhoramento genético e cultivo comercial informações sobre a correlação entre os parâmetros biométricos e porções relativas dos frutos de macaúba são cruciais. Estes parâmetros podem servir de indicadores na busca por materiais com características desejáveis (Tabela 3).

O comprimento do cacho e o número de frutos apresentaram correlação inversa nas regiões de São Gabriel do Oeste, Corumbá e Aquidauana (Tabela 3). O comprimento do cacho e a massa total dos frutos apresentaram correlações baixas nas regiões avaliadas. Estes resultados demonstram que cachos grandes não terão maior quantidade e maior massa de frutos.

A quantidade de frutos de macaúba presente no cacho apresentou correlação positiva com a massa total dos frutos, indicando que quanto maior o número de frutos no cacho maior massa total de frutos será obtida. A correlação da quantidade de frutos no cacho com a massa individual dos frutos de macaúba demonstra que quanto maior for o número de frutos menor será a massa individual dos mesmos (Tabela 3).

Tabela 3. Correlação de Pearson entre parâmetros biométricos e porções relativas dos frutos de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Correlações		Bioma Cerrado		Bioma Pantanal	
		Campo Grande	São Gabriel do Oeste	Corumbá	Aquidauana
Comprimento do cacho X nº de frutos		0,41	-0,06	-0,39	-0,54
Comprimento do cacho X massa total de frutos no cacho		0,33	0,03	-0,09	0,28
Nº de frutos no cacho X massa total de frutos no cacho		0,71	0,88	0,79	0,52
Nº de frutos no cacho X massa do fruto individual		-0,48	-0,04	-0,40	-0,39
Massa do fruto individual X Diâmetro vertical		0,98	0,86	0,97	0,89
Massa do Fruto individual X	Epicarpo	0,87	0,74	0,78	0,94
	Mesocarpo	0,97	0,93	0,95	0,95
	Endocarpo	0,85	0,54	0,81	0,86
	Amêndoa	0,21	0,58	0,26	0,81
Mesocarpo X Endocarpo		0,73	0,51	0,60	0,66
Mesocarpo X Amêndoa		0,08	0,25	-0,01	0,66
Endocarpo X Amêndoa		0,40	0,92	0,69	0,89

Nas regiões de Campo Grande, Corumbá e Aquidauana foi observada correlação inversa entre número de frutos no cacho e massa individual dos frutos,

embora os valores tenham sido baixos. Para os frutos coletados em Aquidauana não houve correlação.

Pode-se observar que quanto maior massa o fruto apresentar maior o diâmetro vertical este terá. A massa dos frutos individuais de macaúba demonstrou correlação positiva principalmente com a massa do mesocarpo (polpa), em todas as regiões avaliadas. Portanto, quanto maior massa o fruto apresentar maior a quantidade de polpa. A correlação da massa dos frutos com a massa da amêndoa foi baixa nas regiões de Campo Grande e Corumbá (Tabela 3).

A região de Aquidauana apresenta algumas particularidades não observadas nas demais regiões estudadas. Esta região demonstrou que quanto maior a massa do fruto individual maior a porção de endocarpo e quanto maior a proporção de mesocarpo maior será de amêndoa.

A polpa dos frutos de macaúba, coletados tanto no bioma Cerrado como no bioma Pantanal, apresentou elevada umidade, variando de 49,06% na região de Campo Grande a 63,00% na região de Corumbá (Tabela 4). Informações reportadas da literatura evidenciam resultados diversificados quanto ao teor de água na polpa de macaúba, variando de 34,32% (Silva et al., 2008) a 52,99% (Ramos et al., 2008).

A umidade nos frutos de macaúba pode variar de acordo com o período de coleta. Coimbra & Jorge (2011) obtiveram 5,98% de água em polpa de macaúba, provavelmente trabalhando com frutos já secos, uma vez que não é descrito o processo de colheita.

Tabela 4. Umidade na polpa e amêndoa de macaúba, coletados em quatro regiões distintas do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Plantas	Polpa (%)				Amêndoa (%)			
	CG	SG	CO	AQ	CG	SG	CO	AQ
01	47,04	55,04	70,29	48,04	18,44	21,93	16,50	20,65
02	40,98	53,19	65,06	50,72	17,81	23,58	16,21	16,40
03	57,75	44,43	64,16	47,82	21,22	16,93	15,26	18,19
04	51,40	44,98	61,55	58,89	14,56	17,90	16,13	15,75
05	57,22	49,75	66,39	56,47	17,87	19,35	15,67	16,57
06	48,00	52,27	58,70	48,00	16,23	19,28	15,40	17,93
07	48,73	58,09	59,08	56,20	15,96	21,98	15,49	16,66
08	43,99	54,66	57,17	46,78	18,43	20,61	14,87	16,56
09	43,60	-	64,39	50,78	17,58	-	14,86	17,02
10	51,91	-	63,25	43,73	17,72	-	14,89	16,20
Média	49,06	51,55	63,00	50,74	17,58	20,19	15,53	17,19
EPM*	1,77	1,72	1,26	1,55	0,56	0,79	0,19	0,45

*Erro Padrão da Média; CG = Campo Grande; SG = São Gabriel do Oeste; CO = Corumbá; AQ = Aquidauana

As amêndoas, provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal, apresentaram diversidade no teor de água, com mínimo de 15,53% em Corumbá e máximo de

20,19% em São Gabriel do Oeste (Tabela 4). Umidade inferior aos valores apresentados, foram observados por Dessimoni-Pinto et al. (2010) em amêndoas de Minas Gerais, 12,08%, e por Hiane et al. (2006), 6,50%, trabalhando com amêndoas provenientes do mesmo estado deste trabalho.

A elevada umidade na polpa e na amêndoa dos frutos de macaúba dificulta o processo de extração do óleo, tornando o processo mais oneroso. Baixos teores de água são fundamentais para uma boa conservação da matéria-prima, pois reduz a possibilidade de crescimento microbiano e desenvolvimento de reações físico-químicas deterioradoras. O rápido processamento ou a secagem de frutos para posterior armazenamento provavelmente terão que ser adotados no processamento industrial de extração do óleo.

Os valores médios referentes ao teor de lipídeos na polpa de macaúba mostraram-se próximos entre as regiões avaliadas, porém a variabilidade intra-regional foi elevada (Tabela 5). A concentração de óleo na polpa de macaúba apresentou média de 25,07%, em base seca, nos biomas amostrados. A região de Minas Gerais demonstra teor lipídico de 55,90 a 69,90% (Cetec, 1989), valores superiores ao encontrado em Mato Grosso do Sul.

Tabela 5. Teor de óleo (base seca) na polpa e amêndoa de macaúba coletados em quatro regiões distintas do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Plantas	Polpa (%)				Amêndoa (%)			
	CG	SG	CO	AQ	CG	SG	CO	AQ
01	30,72	19,06	29,39	17,70	68,32	62,03	66,93	64,91
02	24,79	26,25	22,05	30,92	62,33	63,13	67,32	66,77
03	15,71	19,00	16,72	22,53	67,34	62,50	70,85	67,81
04	19,37	38,20	32,25	26,26	67,97	62,91	69,10	67,12
05	17,27	30,96	16,28	14,44	65,35	66,58	66,84	64,03
06	25,59	20,18	33,85	32,51	65,49	64,71	68,61	62,87
07	25,16	18,52	28,71	28,68	63,54	61,43	68,62	65,66
08	39,48	17,70	34,56	23,45	66,93	64,81	67,80	64,90
09	29,71	-	13,53	28,66	67,99	-	70,61	66,76
10	27,28	-	26,40	31,53	63,84	-	72,60	63,71
Média	25,51	23,73	25,37	25,67	65,91	63,51	68,93	65,45
EPM*	2,22	2,63	2,45	1,92	0,67	0,61	0,60	0,52

* Erro Padrão da Média; CG = Campo Grande; SG = São Gabriel do Oeste; CO = Corumbá; AQ = Aquidauana

O óleo nos frutos de macaúba apresenta-se mais concentrado na amêndoa, chegando a ser três vezes maior o teor de lipídeo em relação à polpa (Tabela 5). As amêndoas de babaçu apresentam quantidades de óleo (60,00%) (Machado et al., 2006) próximas às concentrações obtidas nas amêndoas de macaúba.

O maior conteúdo lipídico na amêndoa pode ser observado na região de Corumbá, 68,93%, e o menor em São Gabriel do Oeste, 63,51%. Valores próximos

foram determinados na região de Minas Gerais, variando de 55,2 a 58,0% de óleo na amêndoa (Cetec, 1983).

Considerando que as árvores amostradas dentro de cada região, localizavam-se próximas uma das outras, pode-se assumir que as características de clima e o solo são homogêneos. Desta forma, pode-se inferir que esta variabilidade observada dentro de uma mesma região está associada com o genoma das palmeiras. No entanto, esta afirmação necessita ser investigada em profundidade para se definir o quanto é a resposta fenotípica e se de fato existe uma ampla diversidade genética na espécie *Acrocomia aculeata*.

A presença de correlações entre composição e morfologia de frutos pode ser uma ferramenta importante na busca de genótipos que expressem características adequadas para a produção agrícola e processos industriais, servindo como indicadores. O teor de lipídeos na polpa de macaúba apresentou correlação baixa com a massa do fruto inteiro, massa do mesocarpo e diâmetro vertical do fruto de macaúba em todas as regiões avaliadas (Tabela 6).

Tabela 6. Correlação de Pearson entre teor de lipídeos da polpa e amêndoa de frutos de macaúba com parâmetros biométricos de frutos provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Teor de Lipídeos (base seca)	Parâmetros	Regiões			
		Campo Grande	São Gabriel do Oeste	Corumbá	Aquidauana
Polpa	Massa do fruto inteiro	0,50	0,24	0,03	0,31
Amêndoa		0,24	- 0,03	- 0,34	0,71
Polpa	Massa Mesocarpo	0,46	0,17	0,26	0,32
Amêndoa	Massa Amêndoa	0,69	0,41	0,57	0,51
Polpa	Diâmetro Vertical (mm)	0,44	0,50	0,04	0,20
Amêndoa		0,23	0,20	- 0,38	0,64

A região de Aquidauana apresentou particularidades distintas das demais regiões estudadas. Frutos coletados nesta localidade demonstraram elevada correlação entre teor de lipídeos na amêndoa com massa do fruto inteiro e com diâmetro vertical. Campo Grande, São Gabriel do Oeste e Corumbá apresentaram correlações baixas e em alguns casos negativas para estes parâmetros (Tabela 6).

As correlações, de maneira geral, demonstram que as características fenotípicas como massa e diâmetro do fruto em macaúba não traduzem maior quantidade de óleo na polpa e amêndoa. Deste modo, baseado nos resultados

obtidos das regiões amostradas, parâmetros fenotípicos não podem ser considerados indicadores de teor de óleo no fruto de macaúba.

Para cultivos comerciais utilizando-se plantas com as características observadas nas regiões avaliadas neste estudo, pode-se estimar o rendimento de óleo de polpa e amêndoa, subsidiando tomada de decisões de investimentos.

Estimativas de rendimento de óleo de polpa e amêndoa de macaúba por hectare apresentaram alta diversidade dentro e entre as regiões avaliadas (Tabela 7). A região de Campo Grande caracterizou-se por apresentar maior rendimento de óleo de polpa. Os teores de óleo na amêndoa foram maiores nas regiões de Corumbá e Campo Grande. A menor produtividade de óleo de polpa e amêndoa foi estimada para São Gabriel do Oeste.

Em plantio de macaúba com espaçamento 5 m x 2 m, poderiam ser plantadas 1000 palmeiras. Nesta densidade populacional, a planta mais produtiva de óleo (polpa + amêndoa) foi encontrada na região de Campo Grande, com rendimento de 8819 kg óleo/hectare, sendo que 87% correspondem a óleo de polpa (Tabela 7). Comparando entre as regiões, o maior rendimento médio em óleos foi observado também na região de Campo Grande, atingindo 3915 kg de óleo/hectare. A produção estimada neste trabalho mostrou-se inferior à estimativa de 7500 kg/ha para frutos de ocorrência em Minas Gerais na mesma densidade populacional (Roscoe, 2007).

A densidade populacional pode interferir no rendimento de cada planta devido ao sombreamento, disponibilidade de nutrientes, dentre outros fatores que condicionam a formação dos frutos e acúmulo de reservas. Portanto, as estimativas apresentadas na Tabela 7, são apenas hipóteses baseadas nos valores coletados neste trabalho. Ainda não foram reportadas na literatura informações sobre o comportamento da macaúba em diferentes espaçamentos e densidades populacionais que permitem estabelecer parâmetros mais concretos de produção.

Tabela 7. Estimativa teórica de produção de óleo de polpa e amêndoa (extração por solvente) de frutos de macaúba (base seca) coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, em diferentes densidades populacionais.

Região	Planta	Espaçamento 5x2 (1000 plantas/hectare)			Espaçamento 10x2 (500 plantas/hectares)			Espaçamento 5x5 (400 plantas/hectare)			
		Polpa Kg/ha	Amêndoa Kg/ha	P+A* Kg/há	Polpa Kg/ha	Amêndoa Kg/ha	P+A* Kg/ha	Polpa Kg/ha	Amêndoa Kg/há	P+A* Kg/ha	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	3576	645	4221	1788	322	2110	1431	258	1689
		2	3699	391	4090	1850	196	2046	1480	157	1637
		3	402	447	849	201	223	424	161	179	340
		4	3208	1754	4962	1604	877	2481	1283	702	1985
		5	3887	1052	4939	1944	526	2470	1555	421	1976
		6	7656	1163	8819	3828	582	4410	3063	465	3528
		7	1712	464	2176	856	232	1088	685	186	871
		8	6054	1152	7206	3027	576	3603	2422	461	2883
		9	957	148	1105	479	74	553	383	59	442
		10	628	157	785	314	78	392	252	63	315
		Média	3178	737	3915	1589	369	1958	1272	295	1567
	EPM**	739,43	165,24	864,53	374,71	82,65	432,32	299,79	66,10	345,80	
	São Gabriel do Oeste	1	700	137	837	350	68	418	280	55	335
		2	975	364	1339	487	182	669	390	146	536
		3	1354	774	2128	677	387	1064	542	309	851
		4	728	128	856	364	64	428	291	51	342
		5	1307	363	1670	653	181	834	523	145	668
		6	1304	551	1855	652	275	927	521	220	741
		7	3342	1179	4521	1671	589	2260	1337	471	1808
		8	715	323	1038	357	161	518	286	129	415
		Média	1303	477	1780	651	239	890	521	191	712
		EPM**	307,86	168,64	425,52	153,96	62,44	212,79	123,18	49,95	170,24
Bioma Pantanal		Corumbá	1	3096	511	3607	1548	256	1804	1238	205
	2		2195	641	2836	1097	321	1418	878	257	1135
	3		566	404	970	283	202	485	227	162	389
	4		5843	1392	7235	2922	696	3618	2337	557	2894
	5		701	331	1032	351	166	517	280	132	412
	6		3678	746	4424	1839	373	2212	1471	298	1769
	7		2046	1058	3104	1023	529	1552	819	423	1242
	8		2852	566	3418	1426	283	1709	1141	226	1367
	9		722	704	1426	361	352	713	289	282	571
	10		2064	1164	3228	1032	582	1614	826	465	1291
	Média		2376	752	3128	1188	376	1564	951	301	1251
	EPM**		511,17	109,48	585,98	255,61	54,70	292,99	204,42	43,76	234,35
	Aquidauana	1	474	191	665	237	96	333	190	76	266
		2	337	86	423	168	43	211	135	34	169
		3	1711	743	2454	856	371	1227	684	297	981
		4	4955	922	5877	2477	461	2938	1982	369	2351
		5	236	134	370	118	67	185	95	54	149
		6	2782	687	3469	1391	344	1735	1113	275	1388
		7	2552	540	3092	1276	270	1546	1021	216	1237
		8	4052	1229	5281	2026	614	2640	1621	492	2113
		9	2762	588	3350	1381	294	1675	1105	235	1340
		10	671	157	828	335	78	413	268	63	331
Média		2053	528	2581	1027	264	1290	821	211	1033	
EPM**	521,40	121,28	633,34	260,70	60,60	316,66	208,55	48,55	253,36		

* Total = Soma da estimativa da produção de óleo na polpa e amêndoa; ** Erro Padrão da Média

Os processos industriais de obtenção de óleo tendem a empregar extrações mecânicas, cuja eficiência é inferior à resultante da extração por solvente orgânico. Em geral, mecanicamente retira-se no máximo 70% dos óleos de matrizes vegetais. Para uma visão geral de produtos e co-produtos da cadeia produtiva de macaúba,

fez-se uma estimativa baseada em população de 1000 plantas/ha com extração mecânica de óleo de polpa e amêndoa (Figura 4).

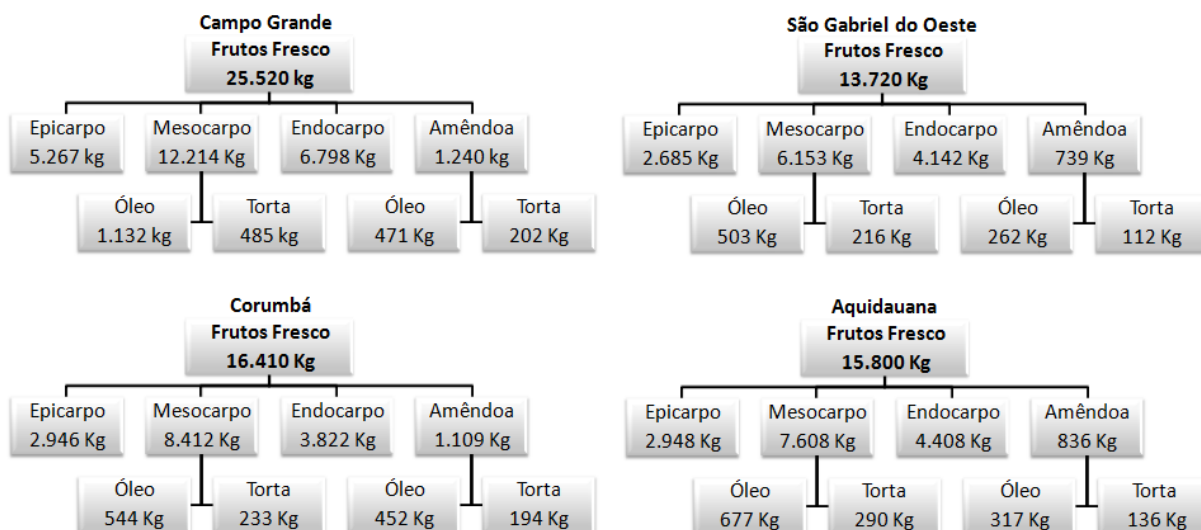


Figura 4. Estimativa de rendimento de produtos e co-produtos do fruto de macaúba/ha, considerando cultivo de 1000 plantas/ha e 70% de rendimento de extração mecânica dos óleos, em populações de ocorrência natural em diferentes regiões do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. (BS = Base Seca)

A região de Campo Grande demonstrou produtividade de frutos/ha superior às demais regiões, atingindo 11.800 Kg a mais do que o produzido por São Gabriel do Oeste (Figura 4), região com plantas menos produtivas. As maiores dimensões de frutos observadas na região de São Gabriel do Oeste (Tabela 2 e Figura 3) não implicaram em maior rendimento por área de produtos e co-produtos. O rendimento de óleo de polpa de macaúba em Campo Grande é aproximadamente, duas vezes maior do que Corumbá e São Gabriel do Oeste. Por outro lado, as regiões de Corumbá e Campo Grande produzem quantidades similares de óleo de amêndoa, mesmo com produtividade de frutos diferentes (Figura 4). Este rendimento se deve à maior proporção de amêndoa presente nos frutos da região de Corumbá (Tabela 2), aliado ao maior conteúdo em lipídeos (Tabela 5).

A utilização dos co-produtos é essencial para o balanço energético e econômico no cenário industrial. O endocarpo resultante do despulpamento e retirada da amêndoa da macaúba pode ser utilizado como biomassa na co-geração de energia (Figura 4). Este material apresenta elevada densidade e poder calorífico,

superando o eucalipto. O poder calorífico do endocarpo de macaúba foi avaliado em 5152 kcal/kg (Vilas Boas et al., 2010) enquanto que espécies de eucalipto produzem entre 4486 a 4641 kcal/kg (Lemenih & Bekele, 2004). Desta maneira, seriam geradas 35.023.296 kcal/ha a partir de um cultivo racional de macaúba, considerando plantas com fenótipo da região de Campo Grande. A densidade aparente do endocarpo foi determinada em 1,29 g/cm³ (Vilas Boas et al., 2010) e no eucalipto foi reportado valor de 0,85 g/cm³ (Rodrigues & Rousset, 2009). Altas densidades são desejáveis para biomassa, pois resultam em melhor aproveitamento de espaço e maior geração de energia.

O consumo de frutos de macaúba faz parte da dieta de animais silvestres e populações humanas de comunidades tradicionais, bem como vem sendo incorporada em novos produtos alimentícios. Portanto, as tortas de polpa e amêndoa, obtidas a partir do processamento dos frutos de macaúba (Figura 4), podem ser aproveitadas para consumo humano e animal como forma de agregação de valor.

4. Conclusão

As árvores e os frutos de macaúba, dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, apresentaram elevada variabilidade quanto às características fenotípicas. Os frutos de Corumbá caracterizaram-se pelas menores dimensões, porém com maior porção comestível e teor lipídico na amêndoa. São Gabriel do Oeste apresentou os maiores frutos, entretanto com as menores concentrações de óleo. Apesar da concentração de lipídeos da polpa de macaúba apresentar elevada diversidade intra-regional, o valor médio entre os locais estudados foi bastante similar. Através da amostragem realizada não foi possível estabelecer características fenotípicas como indicadores da concentração lipídica dos frutos de macaúba, uma vez que a correlação foi baixa entre eles. A região de Campo Grande, bioma Cerrado, revelou-se como a maior produtora de frutos de macaúba por hectare e rendimento de óleo de polpa. Macaúbas de Mato Grosso do Sul demonstraram rendimento em óleo inferior ao observado na região de Minas Gerais, Brasil. Provavelmente cultivos comerciais utilizando genótipos das regiões estudadas resultariam na obtenção aproximada da metade da quantidade de óleo descrita até o momento na literatura para esta espécie.

Referências Bibliográficas

- Amaral, F. P. do, Broetto, F., Batistella, C. B., Jorge, S. M. A., 2011. Extração e caracterização qualitativa do óleo da polpa e amêndoas de frutos de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq) Lood ex. Mart] coletadas na região de Botucatu, SP. *Revista Energia na Agricultura*. 26, 12-20.
- AOAC., 2005. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 18 ed. Maryland: Gaithersburg.
- Basiron, Y., 2005. Palm Oil, in: Shahidi, F. (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*, New York: Wiley-Interscience, pp. 333-429.
- 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.
- Coimbra, M. C., Jorge, N., 2011. Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research International*. 44, 2139-2142.
- Dessimoni-Pinto, N. A. V., Silva, V. M. da, Batista, A. G., Vieira, G., Souza, C. R. de, Dumont, P. V., Santos, G. K. M dos, 2010. Características físico-químicas da amêndoa de macaúba e seu aproveitamento na elaboração de barras de cereais. *Alimentação Nutrição*. 21, 77-84.
- Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., Macedo, M. L. R., 2005. Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. *Brazilian Journal of food technology*. 8, 256-259.
- Hiane, P. A., Baldasso, P. A., Marangoni, S., Macedo, M. L. R., 2006. Chemical and nutritional evaluation of kernels of bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 26, 683-689.

Klink C. A., Machado R. B., 2005. Conservation of the brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. 19, 707-713.

Machado, G. C., Chaves, J. B., Antoniassi, R., 2006. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos de babaçu. *Revista Ceres*. 53, 463-470.

Manfio, C. E., Motoike, S. Y., Santos, C. E. M. dos, Pimentel, L. D., Queiroz, V. de, Sato, A. Y., 2011. Repetibilidade em características biométricas do fruto de macaúba. *Ciência Rural*. 41, 70-76.

Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., Arruda, S. F., 2007. Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd) improved vitamin A status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 22, 3186-3190.

Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., Siqueira, E. M. A., 2008 Qualidade Nutricional da polpa de bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. *Ciência Tecnologia dos Alimentos*. 28, 90-94.

Roscoe, R., 2007. Biodiesel por craqueamento térmico catalítico: energia renovável na agricultura familiar e comunidades indígenas, in: *Workshop de unidades demonstrativas: Rede brasileira de tecnologia de biodiesel*. Embrapa Agropecuária Oeste, Brasília.

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*. 16, 48-59.

Schessl, M., 1999. Floristic composition and structure of floodplain vegetation in the northern Pantanal of Mato Grosso Brazil. *Phyton*. 39, 303-336.

Silva, J. de C. e, Barrichelo, L. E. G., Brito, J. O., 1986. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. *IPEF*. 34, 31-34.

Silva, M. R., Lacerda, D. B. C. L., Santos, G. G., Martins, D. M. de O., 2008. Caracterização química de frutos nativos do Cerrado. *Ciência Rural*. 38, 1790-1793.

Vale, A. T., Costa, A. F., Gonçalves, J. C., Nogueira, M., 2001. Relação entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. *Revista Árvore*. 25, 89-95.

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

CAPÍTULO 3

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Food Chemistry
(www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405857/authorinstructions)

Variabilidade físico-química do óleo de polpa de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil

RESUMO

Objetivou-se neste estudo investigar a variabilidade das características físico-químicas e teor de carotenóides do óleo de polpa de frutos de macaúba nos biomas Cerrado e Pantanal sul-mato-grossense (Brasil), visando gerar informações para o estabelecimento de cultivos comerciais, programas de melhoramento genético e direcionamento para suas possíveis aplicações. O óleo obtido a partir da polpa dos frutos de macaúba apresentou excelente qualidade físico-química. O teor de ácidos graxos livres foi inferior a 1% e não foi detectada a presença de peróxidos. O índice de iodo indica alto grau de insaturação neste óleo. O teor de carotenóides totais apresentou grande variabilidade, atingindo máximo de 739,15 µg/g em Aquidauana. Esta mesma região caracterizou-se pela maior concentração de β-caroteno e retinol equivalente. Aproximadamente 1 ½ colher (sopa) do óleo oriundo da polpa de macaúba suprem a IDR de vitamina A para adultos. A coloração vermelha apresentou correlação positiva com o teor de carotenóides totais.

Palavras-Chave: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood, carotenóides, colorimetria, CLAE, rancidez

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the variability of physical chemical characteristics and carotenoid content of fruit pulp oil of macaúba from the Cerrado and Pantanal biomes in the of state of Mato Grosso do Sul (Brazil), to provide information for the establishment of commercial crops, breeding programs and industrial uses. The oil obtained from fruit pulp of macaúba showed excellent physical and chemical quality. The free fatty acid content was less than 1% and was not detect the presence of peroxides. The iodine value indicates a high degree of unsaturation in the oil. The total carotenoids showed a great variability, reaching a maximum of 739.15 µg/g in Aquidauana. This region is characterized by the highest concentration of β-carotene and retinol equivalent. Approximately 1 ½ spoons (soup) of pulp oil of macaúba supply the RDI of vitamin A for adults. The red color was positively correlated with total carotenoids.

Keywords: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood, carotenoids, colorimetry, HPLC, rancidity

1. Introdução

O mercado consumidor de óleos e gorduras comestíveis está em franca expansão, devido a mudanças nos hábitos alimentares e ao aumento populacional. Dentre as oleaginosas, a soja é a principal responsável pelo abastecimento de óleo no Brasil. O mercado da soja está baseado, no entanto, no fornecimento de farelo para ração, sendo o óleo produto secundário nesta cadeia produtiva. O rendimento de óleo a partir da soja é considerado baixo, 300 a 600 kg/ha (Brasil, 2011; Pontes, Carmo & Porto, 2009).

No cenário mundial, a palma ultrapassou a produção do óleo de soja desde os anos de 2004 e 2005. A palma de óleo (*Elaies guineensis*) apresenta elevada produtividade de óleo, porém devido à necessidade hídrica e térmica essa espécie tem seu cultivo restrito à faixa equatorial (Lipid Library, 2011; Basiron, 2005). Para atender a crescente demanda do mercado por óleos e gorduras é necessário buscar oleaginosas alternativas com maior densidade energética para minimizar custos e impactos ambientais, apropriados para diferentes regiões de produção.

A macaúba, palmeira do gênero *Acrocomia*, apresenta vasta distribuição geográfica, encontrando-se em abundância, principalmente, nos biomas Cerrado e Pantanal brasileiros. Esta palmeira desperta grande interesse por se adaptar em diferentes condições edafoclimáticas e por apresentar alto potencial para o fornecimento de óleo. Estima-se rendimento de até 4500 kg de óleo de macaúba por hectare/ano, podendo ser incrementado com o desenvolvimento de tecnologias de manejo e melhoramento genético (Roscoe, Richetti & Maranhão, 2007).

Os frutos de macaúba apresentam frações lipídicas tanto na polpa como na amêndoa. Da polpa se obtém um óleo com coloração laranja intensa, devido à presença de carotenóides (Ramos, Siqueira, Isomura, Barbosa & Arruda, 2007). Os co-produtos gerados a partir do processamento dos frutos de macaúba podem ser utilizados na nutrição humana, animal e na geração de energia, tendo um aproveitamento total do fruto.

Os carotenóides são antioxidantes naturais que garantem estabilidade oxidativa aos óleos vegetais (Chaiyasit, Elias, McClements & Decker, 2007). A atividade antioxidante desses componentes também está diretamente relacionada com a melhora da resposta imune, redução no risco de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular. Além

disso, alguns carotenóides, como o β -caroteno, estão relacionados com a atividade pró-vitâmica A (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004).

As plantas de macaúba apresentam vasta diversidade nos aspectos morfológicos tanto na parte vegetativa quanto reprodutiva. Palmeiras com características diversas são observadas inclusive dentro de um mesmo maciço onde solo e clima são homogêneos. No entanto, a variabilidade na composição dos frutos e nas propriedades físico-químicas dos óleos não foi reportada amplamente até o momento. Este conhecimento é de grande importância para programas de melhoramento genético, estabelecimento de cultivos comerciais e direcionamento desses produtos a aplicações específicas. Desta forma, objetivou-se neste estudo investigar a variabilidade nas características físico-químicas do óleo de polpa de frutos de macaúba provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal sul-mato-grossense, Brasil.

2. Material e métodos

2.1 Matéria-prima

Frutos de macaúba foram coletados no período de novembro/2010 a janeiro/2011 em quatro regiões do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. As regiões dos municípios de Campo Grande (Latitude: S 20°25.510' Longitude: O 54°58.122') e São Gabriel do Oeste (Latitude: S 19°38.272' Longitude: W 54°22.099') estão localizadas no bioma Cerrado. As regiões de Corumbá (Latitude: S 19°17.589' Longitude: W 57°64.217') e Aquidauana (Latitude: S 20°32.634' Longitude: W 55°33.258') pertencem ao bioma Pantanal.

Em cada região foram selecionadas ao acaso dez árvores para a coleta de um cacho por árvore. Apenas na região de São Gabriel do Oeste foram avaliadas oito árvores. Todos os frutos do cacho foram utilizados para a obtenção do óleo de polpa.

2.2 Despolpamento dos frutos

Os frutos frescos de macaúba foram despolpados manualmente com auxílio de faca inoxidável, sem exposição à luz.

2.3 Umidade e teor de lipídeos da polpa de macaúba

As polpas dos frutos de macaúba foram avaliadas quantitativamente em relação à umidade, obtida por dessecação em estufa a 105 °C até massa constante, e teor de lipídeos, determinado em aparelho Soxhlet, utilizando hexano como solvente orgânico (AOAC, 2005).

2.4 Extração do óleo da polpa de macaúba

Para obtenção do óleo, a polpa de macaúba foi triturada em multiprocessador (Marca Faet Multipractic, modelo MC5) e homogeneizada com éter de petróleo em liquidificador profissional inoxidável (Marca Bermar, modelo BM65). A polpa de macaúba ficou em contato com solvente sob agitação por 48 horas, trocando o solvente a cada 12 horas. O solvente foi removido por rotaevaporação a 35 °C. Todo o processo foi realizado no escuro.

2.5 Propriedades físico-químicas do óleo da polpa de macaúba

Foram avaliados no óleo da polpa de macaúba: ácidos graxos livres em ácido oléico, índice de peróxidos e índice de iodo com base no perfil de ácidos graxos obtido por cromatografia gasosa (AOCS, 1995). Foi utilizado cromatógrafo gasoso com detector de ionização de chama (Marca Agilent Technologies, modelo 6890 N) 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 absortividade molar em 232 e 270 nm foram avaliadas no óleo da polpa de macaúba como indicadores da formação de compostos primários e secundários de oxidação dos óleos, respectivamente. A análise foi realizada em espectrofotômetro (Marca Aquamate, modelo v. 4,55), utilizando isoctano grau UV/HPLC (Tedia), de acordo com método da IUPAC (1979).

2.6 Quantificação de Carotenóides totais

Para a quantificação de carotenóides totais, o óleo de polpa da macaúba foi solubilizado em éter de petróleo e detectado a 450 nm em espectrofotômetro (Marca Aquamate, modelo v. 4,55) (Rodriguez-Amaya et al., 2004). A concentração de carotenóides totais foi calculada de acordo com a equação 1.

$$\text{Carotenóides totais } (\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V(\text{mL}) \times 10^4}{A_{1\text{ cm}}^{1\%} (\beta - \text{caroteno}) \times \text{amostra (g)}}$$

Equação 1. Cálculo de carotenóides totais

Onde:

A= Absorbância da amostra

V= Volume de diluição da amostra no solvente

$A_{1\text{ cm}}^{1\%}$ = Coeficiente de extinção do β -caroteno a 450 nm em éter de petróleo (2592)

2.7 Identificação e quantificação do β -caroteno por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Para análise de identificação e quantificação do β -caroteno, o óleo de polpa da macaúba foi saponificado com solução de 10% de KOH em metanol por 16 horas à temperatura ambiente e ausência de luz.

Após a saponificação, adicionou-se acetona para promover a extração do β -caroteno. Esta mistura foi transferida, aos poucos, para aproximadamente 30 mL de éter de petróleo e 10 mL de éter etílico em funil de separação, seguido por adição de água destilada. Após a separação das fases, foi descartada a fase inferior. A fase etérea (superior), contendo os carotenóides, foi lavada com água destilada até a total remoção dos resíduos do álcali. Em seguida, esta fase foi filtrada através de sulfato de sódio anidro para remoção de qualquer resíduo de água. O extrato final foi concentrado em rota-evaporador e ressuspendido com acetonitrila no momento da análise (Adaptado de Rodriguez-Amaya et al., 2004).

O pico de β -caroteno foi identificado através do tempo de retenção, espectro de absorção e comparação com o padrão externo. A quantificação foi realizada através de padronização externa, por meio de curva de calibração construída a partir da área do pico deste pigmento. A curva de calibração foi obtida com cinco pontos ($R^2 = 0,99$), utilizando padrão de β -caroteno (Sigma, grau de pureza 95% - C4582). Os picos obtidos nos cromatogramas do padrão e amostras foram integrados automaticamente.

Os solventes (grau HPLC) e amostras foram filtrados em membrana de 0,45 μm antes da corrida cromatográfica. Utilizou-se como fase móvel acetonitrila:acetato de etila:metanol, em eluição isocrática de 60:20:20.

A análise por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) foi realizada em um módulo de separação constituído de bomba quaternária (Waters, 2690), detector de arranjo diodos (Waters, 2998) e sistema de aquisição e processamento de dados Empower. Utilizou-se coluna C18 de fase reversa (X terra®, 4,6 mm X 250 mm, tamanho de partícula de 5 μm), com fluxo de 1 mL/min.

2.8 Análise de Cor

A análise de cor nos óleos de macaúba foi determinada de acordo com a escala Lovibond (Tabela 1), em colorímetro Tintometer, modelo Lovibond PFx995 automático (AOAC, 2005).

Tabela 1. Escala de cores do colorímetro Lovibond.

Escala de Cores			
Vermelho	Amarelo	Azul	Neutro
0,1 – 70,0	0,1 – 70,0	0,1 – 9,0	0,1 – 3,0

Fonte: França, Santos & Lima (2007)

3. Resultados e discussão

O teor de lipídeos na polpa de macaúba apresentou alta variabilidade intra-regional, com coeficiente de variação chegando a 33,72% em São Gabriel do Oeste (Tabela 2).

Tabela 2. Umidade e teor de lipídeos (base seca) da polpa de frutos de macaúba coletados nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Regiões		Plantas	Umidade (%)	Teor de Lipídeos (%)
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	47,04 ± 0,38	31,66 ± 3,95
		2	40,98 ± 1,15	25,30 ± 0,72
		3	57,75 ± 0,56	16,71 ± 1,66
		4	51,40 ± 1,14	22,00 ± 0,72
		5	57,22 ± 0,04	18,96 ± 0,77
		6	48,00 ± 1,03	26,98 ± 2,54
		7	48,73 ± 0,98	23,58 ± 1,33
		8	43,99 ± 0,54	40,83 ± 0,92
		9	43,60 ± 1,80	31,54 ± 2,16
		10	51,91 ± 1,63	30,74 ± 0,83
		Média	49,06	26,83
		CV (%)*	11,40	26,57
	São Gabriel do Oeste	1	55,04 ± 0,85	17,83 ± 0,25
		2	53,19 ± 0,13	28,60 ± 0,48
		3	44,43 ± 0,02	17,57 ± 1,68
		4	44,98 ± 0,09	40,02 ± 0,47
		5	49,75 ± 0,32	34,64 ± 0,79
		6	52,27 ± 0,60	21,45 ± 0,41
		7	58,09 ± 0,12	20,05 ± 1,22
		8	54,66 ± 2,03	20,86 ± 1,14
		Média	51,55	25,06
		CV (%)*	9,42	33,72
Bioma Pantanal	Corumbá	1	70,29 ± 0,24	27,84 ± 1,86
		2	65,06 ± 1,05	20,29 ± 0,83
		3	64,16 ± 2,43	16,29 ± 0,94
		4	61,55 ± 0,64	29,07 ± 1,85
		5	66,39 ± 0,98	18,22 ± 2,24
		6	58,70 ± 0,56	35,00 ± 0,70
		7	59,08 ± 0,37	31,96 ± 0,74
		8	57,17 ± 1,06	45,43 ± 0,98
		9	64,39 ± 0,35	22,37 ± 0,96
		10	63,25 ± 0,56	28,49 ± 1,16
		Média	63,00	27,50
		CV (%)*	6,30	31,87
	Aquidauana	1	48,04± 1,91	22,17 ± 3,60
		2	50,72± 0,88	33,44 ± 0,73
		3	47,82± 0,85	24,09 ± 2,11
		4	58,89± 1,72	29,44 ± 0,81
		5	56,47± 1,25	14,96 ± 1,35
		6	48,00± 0,62	32,03 ± 1,93
		7	56,20± 0,98	26,93 ± 2,61
		8	46,78± 1,18	19,18 ± 2,53
		9	50,78± 0,64	29,35 ± 1,54
		10	43,73± 0,53	31,43 ± 1,37
Média	50,74	26,63		
CV (%)*	9,68	21,47		

Média ± Desvio Padrão da média; * Coeficiente de variação

Os frutos com maior teor de óleo, em base seca, foram encontrados na região de Corumbá, 45,43%, e com menor concentração lipídica em Aquidauana, 14,96% (Tabela 2). Considerando o elevado teor de água presente nos frutos de Corumbá (63,00%), o teor de lipídeos em base úmida resulta no valor mais baixo dentre os locais amostrados.

A variabilidade observada na concentração de óleo na polpa de macaúba demonstra a importância de se investigar indivíduos separadamente, com a

finalidade de identificar árvores que forneçam matéria-prima de maior densidade energética.

Os óleos extraídos da polpa de macaúba não apresentaram peróxidos. A acidez observada foi inferior a 1% em todas as regiões avaliadas (Tabela 3). A legislação brasileira para óleos brutos permite acidez máxima de 5% (Brasil, 2005). Desta forma, os óleos analisados estão de acordo com os padrões estabelecidos. Baixas quantidades de ácidos graxos livres no óleo de polpa da macaúba também foram observadas por Hiane, Ramos Filho, Ramos & Macedo (2005), que determinaram acidez de 0,83%.

Esses resultados demonstram que o óleo de polpa da macaúba possui excelente qualidade intrínseca. O processo de pós-colheita pode ser considerado o principal fator para a transformação do produto, diminuindo sua qualidade. Para a indústria alimentícia e farmacêutica, elevada acidez compromete o processamento e a qualidade final do óleo, uma vez que provoca profunda modificação da fração lipídica, proporcionando alterações sensoriais e perdas quantitativas em processos de refino (Gómez-Pinõl & Boronat, 1989).

A absortividade molar é uma propriedade de identidade e qualidade do óleo. Quando medida em 232 nm indica a presença de compostos primários como dienos, peróxidos e hidroperóxidos, formados nas fases iniciais do processo de oxidação do óleo. A absortividade em 270 nm demonstra a formação de compostos secundários, como trienos, cetonas e aldeídos (Rovellini, Cortesi, & Fedeli, 1997; Ferrari & Souza, 2009).

Atualmente não existem normas específicas para absortividades em óleo de polpa de macaúba. Para azeite de oliva extra virgem a legislação brasileira tolera valores de até 2,50 (232 nm) e 0,22 (270 nm) (Brasil, 2005). Os óleos de polpa de macaúba apresentaram média inferior ao estabelecido para azeite de oliva extra virgem a 232 nm e média superior, em todas as regiões, para absortividade a 270 nm (Tabela 3).

Tabela 3. Características físico-químicas do óleo da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Região	Planta	Acidez (% ácido oléico)	Absortividade		Índice de Iodo (gI ₂ /100g)	
			232nm	270nm		
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	0,60 ± 0,01	1,81 ± 0,02	0,32 ± 0,02	37,49±1,16
		2	0,14 ± 0,00	1,42 ± 0,06	0,26 ± 0,04	64,52±2,00
		3	0,32 ± 0,01	1,84 ± 0,04	0,33 ± 0,04	68,50±2,12
		4	0,27 ± 0,01	2,90 ± 0,06	1,33 ± 0,03	79,76±2,48
		5	0,11 ± 0,01	2,09 ± 0,04	0,32 ± 0,04	60,84±1,87
		6	0,25 ± 0,01	2,41 ± 0,05	0,42 ± 0,02	74,17±2,30
		7	0,38 ± 0,00	2,06 ± 0,03	0,46 ± 0,03	69,76±2,16
		8	0,16 ± 0,01	1,31 ± 0,02	0,29 ± 0,01	67,87±2,10
		9	0,43 ± 0,00	1,40 ± 0,04	0,21 ± 0,02	66,89±2,07
		10	0,09 ± 0,00	1,35 ± 0,30	0,41 ± 0,08	65,76±2,04
		Média	0,27	1,86	0,43	65,56
		CV(%)*	59,40	28,10	74,34	17,02
	São Gabriel do Oeste	1	0,21 ± 0,03	2,11 ± 0,01	0,37 ± 0,01	81,54
		2	0,07 ± 0,00	1,46 ± 0,03	0,28 ± 0,02	70,27
		3	0,21 ± 0,00	1,53 ± 0,02	0,35 ± 0,01	75,44
		4	0,08 ± 0,00	1,65 ± 0,08	0,21 ± 0,03	64,30
		5	0,11 ± 0,00	2,54 ± 0,07	0,31 ± 0,06	68,13
		6	0,20 ± 0,00	1,89 ± 0,11	0,37 ± 0,10	72,05
		7	0,07 ± 0,01	4,33 ± 0,16	1,60 ± 0,11	78,14
		8	0,42 ± 0,00	2,80 ± 0,10	1,04 ± 0,08	83,59
		Média	0,17	2,29	0,57	74,18
		CV(%)*	69,74	41,64	86,67	9,03
Bioma Pantanal	Corumbá	1	0,06 ± 0,00	1,61 ± 0,01	0,49 ± 0,01	69,57
		2	0,08 ± 0,01	1,24 ± 0,01	0,35 ± 0,01	69,38
		3	0,06 ± 0,00	1,66 ± 0,05	0,32 ± 0,03	66,22
		4	0,07 ± 0,00	1,74 ± 0,04	0,38 ± 0,03	72,55
		5	0,05 ± 0,00	2,72 ± 0,07	0,69 ± 0,02	68,45
		6	0,08 ± 0,00	1,73 ± 0,06	0,36 ± 0,05	71,95
		7	0,07 ± 0,00	1,47 ± 0,02	0,22 ± 0,02	74,94
		8	0,05 ± 0,00	1,33 ± 0,02	0,24 ± 0,02	62,39
		9	0,09 ± 0,00	2,23 ± 0,01	0,55 ± 0,02	71,45
		10	0,04 ± 0,00	1,84 ± 0,03	0,37 ± 0,02	68,20
		Média	0,07	1,76	0,40	69,51
		CV(%)*	23,81	24,89	36,11	5,09
	Aquidauana	1	0,28 ± 0,00	3,84 ± 0,15	0,44 ± 0,03	80,29
		2	0,16 ± 0,00	1,57 ± 0,02	0,20 ± 0,01	71,10
		3	0,65 ± 0,02	1,40 ± 0,04	0,40 ± 0,02	68,28
		4	0,22 ± 0,00	1,36 ± 0,02	0,25 ± 0,01	64,20
		5	0,07 ± 0,00	1,59 ± 0,01	0,27 ± 0,01	65,67
		6	0,28 ± 0,01	1,28 ± 0,02	0,30 ± 0,01	67,75
		7	0,06 ± 0,00	2,00 ± 0,01	0,42 ± 0,01	76,00
		8	0,33 ± 0,00	1,46 ± 0,06	0,42 ± 0,03	71,95
		9	0,10 ± 0,00	1,36 ± 0,01	0,16 ± 0,00	78,26
		10	0,09 ± 0,00	1,96 ± 0,04	0,30 ± 0,01	62,92
Média	0,22	1,78	0,32	70,64		
CV(%)*	80,20	42,93	31,52	8,46		

Média ± Desvio Padrão da média; * Coeficiente de Variação; A= Amarelo; V= Vermelho

O índice de iodo é definido pela quantidade de insaturações presente nos ácidos graxos e sua medida indica a estabilidade oxidativa do óleo (Weiss, 1983). O óleo da polpa de macaúba apresentou índice elevado para este parâmetro, caracterizando-se por alto grau de insaturações. Nas regiões amostradas o índice de iodo variou de 65,56 gl²/100 g em Campo Grande a 74,18 gl²/100 g em São Gabriel do Oeste (Tabela 3).

O azeite de oliva apresenta índice de iodo de 75,30 $\text{gl}^2/100 \text{ g}$ (Cardoso et al., 2010). Este valor se aproxima ao encontrado no óleo da polpa de macaúba, como resultado da similaridade no perfil de ácidos graxos entre estas duas fontes de óleo. O óleo de palma apresenta índice de iodo inferior (52,90 $\text{gl}^2/100 \text{ g}$), uma vez que contém maior proporção de ácidos graxos saturados (Basiron, 2005).

Os carotenóides totais apresentaram alta variabilidade intra e inter-regional. A região de Aquidauana demonstrou o maior intervalo de variação com mínimo de 90,84 $\mu\text{g/g}$ e máximo de 739,15 $\mu\text{g/g}$ no teor de carotenóides totais (Tabela 4). Coimbra & Jorge (2011) observaram teor de carotenóides totais na polpa de macaúba de 300,01 $\mu\text{g/g}$, valor inferior à média encontrada no óleo de polpa. Durante o processo de extração do óleo de polpa da macaúba, os solventes orgânicos carregam os componentes miscíveis, incluindo os carotenóides. Desta maneira, no óleo são encontrados apenas os compostos solúveis em solventes apolares, enquanto na polpa de macaúba existem diversos componentes com características distintas. Portanto, devido a este efeito de concentração o conteúdo de carotenóides no óleo é superior ao determinado na polpa *in natura*.

A concentração de β -caroteno no óleo de polpa de macaúba apresentou alta variabilidade intra e inter-regional (Tabela 4). Os teores máximo e mínimo foram observados em Aquidauana, com 563,36 e 6,74 $\mu\text{g/g}$, respectivamente. Esta região caracterizou-se pela presença do maior conteúdo médio de β -caroteno. Sendo três vezes superior ao observado em São Gabriel do Oeste (Tabela 4).

A porcentagem de β -caroteno em relação ao total de carotenóides variou em média de 21,49% em São Gabriel do Oeste a 64,69% em Corumbá. Pode-se destacar na região de Corumbá um indivíduo que apresentou 91,56% de β -caroteno em relação aos carotenóides totais (Tabela 4). Na polpa *in natura* de macaúba, Ramos, Ramos Filho, Hiane, Braga Neto & Siqueira (2008) identificaram o β -caroteno correspondendo a 80% dos carotenóides totais identificados por CLAE. Neste trabalho a porcentagem de β -caroteno foi calculada no óleo de polpa de macaúba a partir do total de carotenóides obtido pelo método de espectrometria.

O óleo de polpa de macaúba pode ser considerado uma boa fonte de pró-vitamina A. A biodisponibilidade do β -caroteno proveniente da polpa de macaúba apresentou-se mais elevada em relação ao β -caroteno puro (Ramo et al., 2007). Dentre os carotenóides existentes, o β -caroteno apresenta maior atividade pró-vitamínica A, pois através da ruptura de sua estrutura são originadas duas moléculas

de retinol, forma ativa da vitamina A (Rodriguez-Amaya, Kimura & Amaya-Farfan, 2008).

Embora o consumo de frutas e verduras ricas em carotenóides esteja associado à diminuição de desenvolvimento de doenças crônicas, ainda não foi estabelecida a ingestão diária recomendada (IDR) para os carotenóides. No entanto, pode-se calcular a IDR destes micronutrientes a partir da forma ativa da vitamina A no organismo, expressa em retinol equivalente (RE). Cada 1 µg de β-caroteno equivale a 0,167 µg de RE e cada 1 µg dos outros carotenoides com função pró-vitamínica A apresentam 0,084 µg de RE (FAO/WHO, 1967).

No óleo de polpa de macaúba calculou-se o RE apenas para o β-caroteno, uma vez que os outros carotenóides com função pró-vitamínica A não foram identificados e quantificados neste trabalho.

A Ingestão diária recomendada de RE varia de 500 µg para adultos do sexo feminino a 600 µg para adultos do sexo masculino (FAO/WHO, 1988). A região de Aquidauana apresentou o maior valor médio de RE de β-caroteno, 40,44 µg/g (Tabela 4). Portanto, para suprir a IDR, bastaria a ingestão de 15 g de óleo para os homens e 12 g para mulheres, o equivalente a aproximadamente 1 ½ colher (sopa). Provavelmente esta quantidade diminuirá se for adicionado o RE de outros carotenóides com função pró-vitamínica A, os quais já foram identificados por outros autores (Hiane & Penteado, 1989; Ramos et al., 2008).

As análises de cor realizada nos óleos da polpa de macaúba atingiram valores máximos para coloração amarela, com exceção da planta 06 na região de Campo Grande. A pigmentação vermelha apresentou alta variação intra-regional, porém a média se aproximou em todas as regiões, com mínimo de 8,20 e máximo de 10,26, nas regiões de Campo Grande e Aquidauana, respectivamente (Tabela 4).

As etapas para o refino de óleos vegetais eliminam os pigmentos presentes, que podem ser visualizados através da análise de cor. O óleo de palma bruto apresenta valor de 26,0 para cor amarelo e vermelho, já o óleo refinado apresenta coloração de 10,0 para amarelo e de 1,0 para vermelho. A perda dos pigmentos presentes no óleo pode ser visualizada principalmente com a diminuição dos valores da cor vermelha (Osawa, Gonçalves & Ragazzi, 2006).

O teor de carotenóides apresentou correlação positiva com a coloração vermelha, principalmente para as regiões de Aquidauana (0,97), seguido de Campo Grande (0,91), Corumbá (0,83) e São Gabriel do Oeste (0,40). Portanto, quanto mais

intensa a coloração vermelha, provavelmente, maior o teor de carotenóides presente no óleo de polpa de macaúba.

Tabela 4. Carotenóides totais, β -caroteno, retinol equivalente e coloração em óleos de polpa de macaúba provenientes de frutos dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Região	Planta	Carotenóides Totais (µg/g)	B-Caroteno		Retinol Equivalente (µg/g)	Coloração		
			µg/g	Proporção em relação aos CT (%)		A	V	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	243,97 ± 2,92	40,27 ± 2,22	16,51	6,72	70	6,80
		2	110,27 ± 0,73	27,44 ± 0,39	24,89	4,58	70	3,80
		3	276,09 ± 4,12	182,47 ± 0,00	66,09	30,47	70	7,70
		4	453,20 ± 2,05	346,19 ± 0,39	76,39	57,81	70	8,70
		5	175,91 ± 1,70	88,18 ± 0,07	50,13	14,73	70	5,50
		6	487,24 ± 3,97	250,60 ± 0,80	51,43	41,85	60	13,10
		7	489,57 ± 5,04	300,35 ± 2,61	61,35	50,16	70	10,60
		8	382,21 ± 0,60	225,48 ± 1,99	58,99	37,65	70	8,10
		9	170,65 ± 2,00	10,48 ± 1,54	6,14	1,75	70	6,90
		10	491,83 ± 0,38	73,70 ± 2,35	14,99	12,30	70	10,80
		Média	328,09	154,52	42,69	25,80	69	8,20
	CV(%)*	45,66	78,95	-	78,96	4,58	33,36	
	São Gabriel do Oeste	1	350,10 ± 6,03	24,41 ± 3,15	6,97	4,08	70	8,10
		2	211,53 ± 2,43	26,63 ± 0,25	12,59	4,45	70	5,40
		3	493,69 ± 1,78	293,18 ± 0,00	59,39	48,96	70	10,80
		4	189,14 ± 0,46	20,09 ± 0,20	10,62	3,35	70	11,00
		5	184,59 ± 4,34	21,03 ± 0,32	11,39	3,51	70	8,70
		6	290,84 ± 0,01	120,71 ± 1,99	41,50	20,16	70	10,10
		7	211,28 ± 0,89	46,29 ± 0,33	21,91	7,73	70	6,60
		8	567,56 ± 0,01	42,91 ± 1,02	7,56	7,17	70	9,60
		Média	312,34	74,41	21,49	12,43	70	8,79
		CV(%)*	47,14	126,86	-	126,85	-	22,79
Bioma Pantanal		Corumbá	1	384,67 ± 0,52	183,52 ± 14,27	47,71	30,65	70
	2		515,20 ± 2,12	355,32 ± 0,00	68,97	59,34	70	10,40
	3		237,67 ± 5,24	62,22 ± 16,18	26,18	10,39	70	8,10
	4		299,29 ± 3,69	214,62 ± 0,00	71,71	35,84	70	7,50
	5		468,99 ± 2,57	359,57 ± 10,11	76,67	60,05	70	9,00
	6		386,45 ± 1,67	268,62 ± 1,24	69,51	44,86	70	8,50
	7		103,40 ± 0,03	63,72 ± 7,96	61,62	10,64	70	6,60
	8		139,07 ± 2,31	80,67 ± 11,64	58,00	13,47	70	7,50
	9		447,81 ± 6,89	410,02 ± 0,00	91,56	68,47	70	10,20
	10		271,03 ± 2,62	203,27 ± 16,63	75,00	33,95	70	7,90
	Média		325,36	220,15	64,69	36,77	70	8,31
	CV(%)*		42,76	57,98	-	57,98	-	14,86
	Aquidauana	1	565,01 ± 0,01	124,09 ± 10,37	21,96	20,72	70	13,10
		2	90,84 ± 1,05	6,74 ± 0,05	7,42	1,13	70	4,40
		3	567,55 ± 6,74	368,29 ± 11,70	64,89	61,50	70	12,30
		4	297,24 ± 1,57	242,78 ± 6,26	81,68	40,54	70	7,40
		5	300,91 ± 0,83	206,07 ± 9,91	68,48	34,41	70	8,40
		6	377,91 ± 1,69	227,59 ± 5,84	60,22	38,01	70	8,70
		7	739,15 ± 3,15	563,36 ± 0,00	76,22	94,08	70	18,50
		8	705,59 ± 3,78	367,23 ± 5,16	52,05	61,33	70	13,60
		9	152,44 ± 3,42	20,64 ± 2,59	13,54	3,45	70	5,40
		10	458,38 ± 0,84	295,06 ± 6,89	64,37	49,27	70	10,80
Média		425,50	242,18	51,08	40,44	70	10,26	
CV(%)*		51,87	69,84	-	69,84	-	41,55	

Média \pm Desvio Padrão da média; * Coeficiente de Variação; A= Amarelo; V= Vermelho; CT – Carotenóides Totais

4. Conclusão

O teor de lipídeos na polpa dos frutos de macaúba, dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, apresentou elevada variabilidade entre as plantas avaliadas numa mesma região. No entanto, a média entre as regiões foi similar. Os indicadores de rancidez oxidativa e hidrolítica demonstraram excelente qualidade intrínseca dos óleos da polpa dos frutos de macaúba avaliados. Grau de insaturação elevado foi evidenciado pelo índice de iodo. A região de Aquidauana destacou-se por apresentar maior conteúdo de carotenóides totais, teor de β -caroteno e retinol equivalente. A IDR de vitamina A para adultos pode ser fornecida por aproximadamente 1 ½ colher (sopa) de óleo de polpa de macaúba obtido de frutos de Aquidauana. A região de Campo Grande apresentou teor de carotenóides totais semelhantes a Corumbá. No entanto, a proporção de β -caroteno e, consequentemente, o teor de retinol equivalente são superiores em Corumbá. A intensidade da coloração vermelha dos óleos de polpa está correlacionada ao teor de carotenóides totais.

Referências Bibliográficas

- AOAC. (2005). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. (18 ed.). Maryland: Gaithersburg.
- AOCS. (1995). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society*. (4 ed.) USA: Champaign, A.O.C.S.
- Basiron, Y. (2005). Palm Oil. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 333-429). New York: Wiley-Interscience.
- 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 outubro de 2011.

Brasil (2011). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Brasil projeções do agronegócio 2010/2011 a 2020/2021*. Brasília: Mapa

Cardoso, L. G. V., Barcelos, M. de F. P., Oliveira, A. F. de, Pereira, J. de A. R., Abreu, W. C. de, Pimentel, F. de A., Cardoso, M. das G., & Pereira, M. C. de A. (2010). Características físico-químicas e perfil de ácidos graxos de azeites obtidos de diferentes variedades de oliveiras introduzidas no Sul de Minas Gerais – Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, 31, 127-135.

Chaiyasit, W., Elias, R. J., McClement, D. J., & Decker, E. A. (2007). Role of physical structures in bulk oils on lipid oxidation. *Food Science and Nutrition*, 47, 299-317.

Coimbra, M. C., & Jorge, N. (2011). Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeata*) palm fruits. *Food Research International*. 44, 2139-2142.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. (1967). *Requirements of vitamin A, thiamine, riboflavine and niacin*. Report of a Joint FAO/WHO Expert Group. WHO technical report series. 362, World Health Organization, Geneva.

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. (1988). *Requirements of vitamin A, iron, folate and vitamin B₁₂*. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. Food and Agriculture Organization, Rome.

Ferrari, R. A., & Souza, W. L. (2009). Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. *Química Nova*, 32, 106-111.

França, S. C. A., Santos, S. F., & Lima, S. R. M. de. (2007). Ensaio para medida de cor em colorímetros Lovibond e ASTM. *Comunicação técnica elaborada para o livro Tratamento de Minérios: Práticas laboratoriais*. Rio de Janeiro: Centro de tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia, Coordenação de Processos Minerais.

Gómez-Pinõl, J. M., & Boronat, M. C. de la T. (1989). Influencia de la tecnologia em nutritivo de los alimentos: lipídeos. *Alimentaria*, 204, 15-21.

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, 158-168.

Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., & Macedo, M. L. R. (2005). Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. *Brazilian Journal of Food Technology*, 8, 256-259.

IUPAC. (1979). International Union of Pure and Applied Chemistry. *Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives*. (6ed.) Oxford: IUPAC.

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

Osawa, C. C., Gonçalves, L. A. G., & Ragazzi, S. (2006). Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. *Química Nova*, 29, 593-599.

Pontes, H. L. J., Carmo, B. B. T. do, & Porto, A. J. V. (2009). Problemas logísticos na exportação brasileira da soja em grão. *Sistemas e Gestão*, 4, 155-181.

Ramos, M. I. L., Ramos Filho, M. M., Hiane, P. A., Braga Neto, J. A., & Siqueira, E. M. A. (2008). Qualidade nutricional da polpa de bocaiúva *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 90-94.

Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., & Arruda, S. F. (2007). Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood) improved vitamin A status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22, 3186-3190.

Rodriguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. (2004). *HarvestPlus Handbook for carotenoid analysis*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; Cali: International Center for Tropical Agriculture (Technical Monograph 2).

Rodriguez-Amaya, D. B., Kimura, M., & Amaya-Farfan, J. (2008). *Fontes Brasileiras de carotenóides: Tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos*. Brasília: MMA/SBF.

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*, 16, 48-59.

Rovellini, P., Cortesi, N., & Fedeli, E. (1997). Ossidazione dei lipid. *La Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 74, 181-189.

Weiss, T. J. (1983). *Food oils and their uses*. (310 p.) AVI Publishing Company, 2 ed.

CAPÍTULO 4

Artigo elaborado de acordo com as normas da revista Food Chemistry
(www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/405857/authorinstructions)

Qualidade nutricional e propriedades térmicas do óleo de polpa de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil

RESUMO

Objetivou-se neste estudo investigar a qualidade nutricional e as propriedades térmicas do óleo de polpa de frutos de macaúba nos biomas Cerrado e Pantanal sul-mato-grossense (Brasil), visando fornecer informações sobre o potencial nutritivo e estabilidade oxidativa desta fonte oleaginosa. O perfil de ácidos graxos dos óleos de polpa de macaúba apresentou similaridade ao azeite de oliva, tendo o ácido graxo monoinsaturado oléico como majoritário em todas as regiões, variando de 47,05 a 72,59%. A maior proporção de ácido oléico foi detectada em frutos da região de Corumbá, alcançando 81,32%. Comparado ao óleo de palma, os índices de qualidade nutricional do óleo de polpa de macaúba mostraram-se mais adequados para a saúde humana. São Gabriel do Oeste demonstrou ser a região que produz óleos com a maior temperatura inicial de oxidação. Os óleos de polpa de macaúba apresentaram estabilidade oxidativa similar ao óleo de oliva e superior ao óleo de soja e girassol.

Palavras-Chave: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart., ácido oléico, aterogenicidade, trombogenicidade, estabilidade oxidativa

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the nutritional quality and thermal properties of the pulp oil of macaúba from the Cerrado and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul (Brazil), aiming to provide information about the its nutritional potential and oxidative stability. The fatty acid profile of pulp oil showed similarity to olive oil, and monounsaturated fatty acid oleic as the majority one in all regions, ranging from 47.05 to 72.59%. A higher proportion of oleic acid was detected in fruits from Corumbá region, reaching 81.32%. Compared to palm oil, the nutritional quality indexes of the pulp oil of macaúba were more suitable for human health. São Gabriel do Oeste provided the oils with the higher initial temperature oxidation. The pulp oils of macaúba presented the oxidative stability same of olive oil and superior to soybean and sunflower oils.

Keywords: *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart., oleic acid, atherogenicity, thrombogenicity, oxidative stability

1. Introdução

O estado de Mato Grosso do Sul apresenta uma enorme biodiversidade biológica, uma vez que esta região abrange dois biomas, o Cerrado e o Pantanal. Existem inúmeras espécies de palmeiras com potencial oleaginoso que são utilizadas pelas comunidades tradicionais desta localidade. No entanto, o pouco conhecimento sobre a composição nutricional destas espécies resulta na desvalorização do patrimônio.

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex. Mart.) é uma espécie amplamente distribuída no território brasileiro, principalmente nos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul (Ratter, Bridgewater & Ribeiro, 2003). Seus frutos integram a alimentação de animais silvestres e da população local. A porção comestível, formada pela polpa e amêndoa, pode ser aproveitada na forma integral, utilizando a farinha para formulações de alimentos ou como fonte oleaginosa de óleos insaturados e saturados, respectivamente.

Algumas populações apresentam carências nutricionais, devido à dificuldade em manter uma alimentação adequada em quantidade e qualidade. O óleo de polpa de macaúba é rico em carotenóides (Ramos, Siqueira, Isomura, Barbosa & Arruda, 2007) e ácido graxo monoinsaturado oléico (Hiane, Ramos Filho, Ramos & Macedo, 2005), o qual estão associados a efeitos benéficos a saúde humana.

Dietas ricas em ácido oléico estão relacionadas à diminuição de incidência de doenças cardiovasculares, controle de dislipidemias e propriedades antiinflamatórias (Lin & Huey, 2009; Vassiliou, Gonzalez, Garcia, Tadros, Chakraborty & Toney, 2009). Os lipídeos devem fornecer em torno de 20 a 35% das calorias diárias na dieta humana. Deste total, os ácidos graxos monoinsaturados devem ser a fonte predominante, devendo corresponder a 2/3 do fornecimento de calorias de origem lipídica em uma dieta de 2000 kcal para adultos (NCEP, 2002).

Além do benefício associado à saúde, óleos com elevados teores de oléico atendem à demanda industrial por lipídeos com boa estabilidade oxidativa frente a processos térmicos e armazenamento. Atualmente, são considerados como uma alternativa promissora para substituir gorduras altamente saturadas (Lin et al., 2009).

A qualidade do óleo deve ser avaliada tanto de maneira nutricional como térmica. A degradação dos lipídeos pode desencadear várias reações químicas e enzimáticas, alterando a qualidade do produto. As consequências são modificações

sensoriais e nutricionais, gerando depreciação do produto e perda do valor comercial (Frega, Mozzon & Lercker, 1999). Durante o processo de degradação lipídica ocorre a formação de componentes nocivos a saúde humana, associados ao desenvolvimento de câncer e doenças gástricas crônicas (Hur, Park & Joo, 2007; Chung, Kang, Park, Park, Jun & Lee, 2007)

A avaliação da fração lipídica, através do perfil de ácidos graxos, fornece informações sobre os efeitos promotores e/ou protetores relacionados a doenças crônicas, incluindo as cardiovasculares (Ulbricht & Southgate, 1991; Santos-Silva, Bessa & Santos-Silva, 2002). As análises de propriedades térmicas demonstram a estabilidade oxidativa do óleo, podendo sugerir tempo de armazenamento, consumo e suas possíveis aplicações.

O conhecimento do valor nutricional do óleo de polpa de macaúba e do seu comportamento térmico são subsídios fundamentais para a promoção do consumo como óleo comestível e incorporação em processos industriais. Desta maneira, este estudo teve como objetivo investigar a qualidade nutricional e térmica do óleo de polpa obtido a partir de frutos de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul (Brasil).

2. Material e métodos

2.1 Amostras

O óleo da polpa de macaúba foi obtido a partir de frutos maduros coletados em duas regiões do bioma Cerrado, Campo Grande e São Gabriel do Oeste, e duas do bioma pantanal, Corumbá e Aquidauana.

A coleta foi realizada entre os meses de novembro/2010 a janeiro/2011 no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Em cada região dez palmeiras de macaúba foram selecionadas ao acaso para a coleta dos frutos diretamente do cacho.

Os frutos frescos de macaúba foram despulpados manualmente. A polpa foi triturada em multiprocessador (Marca Faet Multipractic, modelo MC5) e homogeneizada com éter de petróleo em liquidificador (Marca Bermar, modelo BM65). Durante 48 horas a polpa de macaúba ficou sob agitação com éter de petróleo, que foi trocado a cada 12 horas. O solvente foi removido por rotaevaporador a 35 °C.

2.2 Perfil de ácidos graxos

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_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). 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.

2.3 Índices da qualidade nutricional dos lipídeos

A qualidade nutricional dos lipídeos foi avaliada através dos índices de aterogenicidade (Equação 1), trombogenicidade (Equação 2) e razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (Equação 3), a partir dos dados obtidos pelo perfil de ácido graxo (Ulbricht et al., 1991; Santos-Silva et al., 2002).

$$IA = \frac{[(C12:0 + (4 * C14:0) + C16:0)]}{(\sum AGMI + \sum \omega 6 + \sum \omega 3)}$$

Equação 1. Índice de aterogenicidade

$$IT = \frac{(C14:0 + C16:0 + C18:0)}{[(0,5 * \sum AGMI) + (0,5 * \sum \omega 6 + (3 * \sum \omega 3)) + (\sum \omega 3 / \sum \omega 6)]}$$

Equação 2. Índice de trombogenicidade

$$H/H = \frac{(C18:1cis9 + C18:2 + C20:4 + C18:3 + C20:5 + C22:5 + C22:6)}{(C14:0 + C16:0)}$$

Equação 3. Razão ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

Onde:

IA= Índice de Aterogenicidade

IT= Índice de Trombogenicidade

HH= Razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos

AGMI= Ácidos Graxos Monoinsaturados

2.4 Propriedades térmicas

Foram realizadas, simultaneamente, análises de Termogravimetria (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), utilizando termobalança (Marca SDT Q600). O método baseou-se em rampa de aquecimento, com razão de 20 °C/min, em atmosfera de ar sintético com fluxo de 100 mL/min na faixa de 20 a 700 °C. Aproximadamente, 0,9 mg de óleo de polpa de macaúba foram adicionados ao cadinho de alumina para as análises. A temperatura de início de oxidação (OOT) foi determinada através do *onset* conforme protocolo da ASTM International E 2009 – 02 (2004). O software para interpretação dos dados foi TA Universal Analysis.

3. Resultados e Discussão

Propriedades Nutricionais

Os perfis de ácidos graxos dos óleos de polpa de macaúba apresentaram elevada variabilidade (Tabela 1). O ácido graxo majoritário, em todas as regiões, foi o monoinsaturado oléico, apresentando em média mínimo de 47,05 e máximo de 72,59%. Corumbá apresentou maior conteúdo de ácido oléico, destacando-se uma planta que atingiu 81,32% deste ácido graxo. Hiane et al., (2005), trabalhando com frutos provenientes do mesmo estado deste estudo, observaram valor próximo de ácido oléico (65,87%).

O azeite de oliva apresenta perfil de ácido graxo semelhante ao óleo de macaúba, principalmente relacionado ao ácido oléico, que varia de 55 a 83% (Firestone, 2005). O hábito alimentar que inclui um alto consumo de azeite de oliva é a principal alegação da baixa frequência de marcadores ligados a processos

inflamatórios, doenças cardiovasculares e controle de dislipidemias na população mediterrânea (Panagiotakos et al., 2009).

Este ácido graxo vem sendo incorporado a outros óleos que possuem baixa concentração de ácido oléico, a fim de oferecer propriedades benéficas à saúde e aumentar a estabilidade oxidativa do produto (Huang & Sumpio, 2008). O óleo de polpa de macaúba não necessita dessa adição, uma vez que pode ser considerada uma fonte natural desse componente, atendendo assim as necessidades industriais e nutricionais.

A fração predominante de ácidos graxos saturados foi representada pelo ácido palmítico, com média mínima de 14,82 e máxima de 24,36%, e ácido esteárico, variando de 2,06 a 4,17%. O ácido saturado mirístico foi encontrado somente em algumas plantas, cuja quantidade foi inferior a 1% (Tabela 1). O óleo de palma apresenta quantidades superiores de ácido palmítico (44,02%) e esteárico (4,54%), este último considerado neutro em relação aos níveis de colesterol no sangue (Basiron, 2005; Kris-Etherson, Griel, Psota, Gebauer, Zhang, & Etheson, 2005).

O fracionamento de óleos constitui-se numa tecnologia importante para agregar valor e ampliar suas aplicações. Este procedimento é usualmente efetuado no óleo de palma, gerando a fração líquida (oleína) e sólida (estearina). Considerando o perfil de ácidos graxos de ambas as palmáceas, espera-se maior rendimento de oleína no óleo de polpa de macaúba em relação à palma de óleo.

Nos produtos onde a presença da gordura em estado sólido é indispensável para a manutenção da textura e da consistência, a substituição da gordura vegetal hidrogenada pela estearina do óleo de macaúba poderá ser uma alternativa importante em substituição ao processo de hidrogenação. Visto que este processo leva à formação de indesejáveis ácidos graxos *trans*, cujo consumo tem consequências negativas para a saúde humana (Korver & Katan, 2006).

Tabela 1. Perfil de ácidos graxos do óleo da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal de MS, Brasil.

Região	Planta	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1 (ω7)	C18:0	C18:1 (ω9)	C18:2 (ω6)	C18:3 (ω3)	C20:0	C20:1	C22:0	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	-	-	-	0,12	21,71	1,59	1,78	49,59	17,82	1,64	0,26	0,19	-
		2	-	-	-	-	21,93	3,66	2,62	64,07	1,38	0,82	0,23	0,12	-
		3	0,24	-	0,60	0,34	19,48	4,09	1,42	61,46	3,91	1,33	0,14	0,19	-
		4	0,32	0,23	1,21	0,87	19,75	2,12	3,35	50,05	15,23	2,51	0,20	-	-
		5	-	-	-	-	26,64	10,51	1,01	50,91	1,84	0,98	0,16	0,11	-
		6	-	-	-	0,15	19,88	2,34	1,02	57,62	9,44	1,69	0,12	0,20	-
		7	-	-	0,15	0,20	15,31	1,25	1,39	73,61	0,75	0,93	0,24	0,41	-
		8	-	-	-	-	24,01	3,29	2,40	57,73	6,25	1,06	0,15	0,13	-
		9	-	-	-	0,11	26,69	4,54	1,62	51,64	8,00	1,09	0,13	0,14	-
		10	-	-	0,19	0,20	23,49	2,77	4,11	58,07	5,86	0,61	0,17	-	-
		Média	-	-	-	-	21,89	3,62	2,07	57,48	7,05	1,27	-	-	-
	São Gabriel do Oeste	1	-	-	-	0,12	26,29	2,57	0,97	38,19	22,82	1,89	0,18	0,18	-
		2	-	-	-	0,22	28,16	4,60	2,64	45,16	12,28	1,62	0,28	0,12	0,10
		3	-	-	0,19	0,15	18,14	1,16	6,76	55,51	11,71	1,78	0,50	0,13	0,11
		4	-	-	-	0,12	30,60	6,58	1,48	45,27	9,28	0,63	-	-	-
		5	-	-	-	0,10	26,17	7,44	1,04	45,28	9,86	1,36	0,17	0,19	-
		6	-	-	-	0,13	27,31	7,57	1,28	42,74	11,95	2,23	0,13	0,10	-
		7	-	-	-	0,12	19,28	5,68	0,94	49,28	14,02	1,67	-	0,10	-
		8	0,12	0,13	0,42	0,60	18,89	0,92	1,37	54,98	12,24	4,74	-	0,29	-
		Média	-	-	-	-	24,36	4,57	2,06	47,05	13,02	1,99	-	-	-
Bioma Pantanal	Corumbá	1	-	-	-	-	14,92	0,54	3,73	74,22	0,99	0,76	0,27	0,41	-
		2	-	-	-	-	16,22	0,67	3,58	72,82	1,20	0,96	0,26	0,22	-
		3	-	-	3,17	0,17	19,78	5,06	1,69	64,38	1,00	1,10	0,15	0,12	-
		4	-	-	-	-	12,66	0,64	2,47	76,99	0,81	1,05	0,19	0,25	-
		5	-	-	-	-	19,08	3,34	1,73	66,55	1,72	1,37	0,12	0,23	-
		6	-	-	-	-	13,86	0,57	2,53	76,00	0,80	1,18	0,16	0,25	-
		7	-	-	-	-	10,03	0,18	2,61	81,32	0,61	0,82	0,15	0,48	-
		8	-	-	-	-	13,94	0,40	14,00	66,37	0,93	0,75	0,45	0,14	-
		9	-	-	-	-	14,31	1,17	1,96	74,08	1,42	0,99	0,11	0,20	-
		10	-	-	-	-	13,42	0,58	7,44	73,18	0,56	0,84	0,39	0,10	-
		Média	-	-	-	-	14,82	1,32	4,17	72,59	1,00	0,98	-	-	-
	Aquidauana	1	-	-	0,24	0,57	23,58	2,44	0,77	41,73	18,63	3,08	0,25	0,21	-
		2	-	-	0,17	0,12	26,42	1,85	6,67	44,36	15,84	0,84	0,23	-	-
		3	-	-	-	-	15,23	0,66	4,68	73,26	0,68	0,76	0,39	0,22	-
		4	-	-	-	-	24,80	3,45	2,89	58,60	4,03	0,82	0,21	0,15	-
		5	-	-	0,13	0,14	22,70	2,98	2,40	61,30	3,65	0,90	0,26	0,14	-
		6	-	-	-	0,11	25,68	2,63	3,07	54,53	7,59	1,42	0,33	0,25	-
		7	-	-	-	0,12	21,50	5,20	1,18	50,35	12,91	1,43	0,11	0,12	-
		8	-	-	-	-	18,22	0,43	2,94	67,14	4,79	1,50	0,19	0,27	-
		9	-	-	0,31	0,25	18,41	1,65	1,63	57,96	13,17	0,89	0,14	0,18	-
10	-	-	-	0,14	23,17	7,93	1,43	56,85	2,14	0,54	0,15	0,15	-		

O ácido linoléico ($\omega 6$) e o ácido linolênico ($\omega 3$) são considerados ácidos graxos essenciais para os seres humanos, pois não são produzidos pelo nosso organismo. O $\omega 6$ e o $\omega 3$ são convertidos, pelo organismo humano, em ácido araquidônico (C20:4) que são precursores de eicosanóides, prostaglandinas, leucotrienos e tromboxanos (Funk, 2001). O desequilíbrio entre os ácidos graxos poliinsaturados $\omega 6$ e $\omega 3$ na dieta está relacionado à elevação dos riscos de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes, entre outras patologias (Fagundes, 2002).

A FAO (Food and Agriculture Organization) estabelece a razão $\omega 6:\omega 3$ de 5:1 – 10:1, porém estudos comprovam que a razão de 2:1-3:1 está associada com a conversão máxima do ácido alfa-linolênico em ácido docosahexaenóico (DHA) (C22:6). O ácido DHA possui importante função na formação, desenvolvimento e funcionamento do cérebro e da retina (Martin et al., 2006).

A razão $\omega 6:\omega 3$ nos óleos avaliados apresentaram alta variabilidade, com exceção da região de Corumbá, bioma Pantanal, que todas as plantas apresentaram a mesma razão, 1:1 (Tabela 2). Dietas baseadas em razões $\omega 6:\omega 3$ inferiores a 1:1 não são recomendadas, por bloquearem a transformação do ácido linoléico em ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa (Martin et al., 2006).

De acordo com dados reportados da literatura, pôde-se calcular a razão $\omega 6:\omega 3$ para o óleo de palma. A razão (27:1) mostrou-se desequilibrada neste óleo, elevando os riscos de inúmeras doenças.

Diversas plantas de macaúba, das diferentes regiões, demonstraram razões $\omega 6:\omega 3$ de acordo com o desejado, porém é necessário a criação de normas brasileiras para a avaliação deste parâmetro.

Os índices de aterogenicidade (IA) e trombogenicidade (IT) indicam o potencial de estímulo à agregação plaquetária. Isto é, baixos valores destes índices, implicam em maior disponibilidade de ácidos graxos anti-aterogênicos. O benefício resultante é o menor risco de formação de trombos, com conseqüente potencial preventivo às doenças coronarianas (Turan, Sonmez & Kaya, 2007).

A média para o índice de aterogenicidade variou de 0,21 a 0,43 e para o índice de trombogenicidade de 0,47 a 0,78, respectivamente nas regiões de Corumbá, bioma Pantanal, e Campo Grande, bioma Cerrado (Tabela 2). Observou-se correlação positiva entre o IA e IT para as regiões de Campo Grande (0,98), São Gabriel do Oeste (0,93), Corumbá (0,55) e Aquidauana (0,86).

Tabela 2. Qualidade nutricional da fração lipídica da polpa de macaúba proveniente dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Região	Planta	AGI	AGS	AGMI	AGMI/AGS	ω-6: ω-3	IA	IT	HH	
Bioma Cerrado	Campo Grande	1	70,83	23,96	51,38	2,14	11:1	1,13	1,68	0,89
		2	70,04	24,78	67,84	2,74	2:1	0,33	0,68	3,02
		3	70,99	22,21	65,75	2,96	3:1	0,32	0,57	3,37
		4	69,91	25,93	52,16	2,01	6:1	0,36	0,59	3,29
		5	64,36	27,81	61,54	2,21	2:1	0,49	0,92	2,02
		6	71,29	21,17	60,16	2,84	6:1	0,30	0,54	3,43
		7	76,94	17,30	75,26	4,35	1:1	0,21	0,41	4,85
		8	68,47	26,56	61,15	2,30	6:1	0,37	0,75	2,71
		9	65,41	28,56	56,32	1,97	7:1	0,45	0,85	2,27
		10	67,32	28,17	60,85	2,16	10:1	0,38	0,82	2,72
		Média	69,56	24,65	61,24	2,57	-	0,43	0,78	2,86
		CV(%)*	5,07	14,54	11,75	27,97	-	58,92	45,20	36,44
	São Gabriel do Oeste	1	65,65	27,55	40,94	1,49	12:1	0,42	0,75	2,38
		2	63,79	31,39	49,88	1,59	8:1	0,49	0,92	2,08
		3	70,30	25,84	56,81	2,20	7:1	0,27	0,64	3,77
		4	61,76	32,20	51,85	1,61	15:1	0,56	1,10	1,80
		5	64,13	27,48	52,91	1,93	7:1	0,47	0,86	2,15
		6	64,59	28,85	50,41	1,75	5:1	0,49	0,84	2,07
		7	70,76	20,34	55,07	2,71	8:1	0,30	0,55	3,35
		8	73,16	21,53	56,18	2,61	3:1	0,30	0,43	3,69
		Média	66,77	26,90	51,76	1,98	-	0,41	0,76	2,66
		CV(%)*	6,10	15,76	9,79	23,82	-	26,07	28,21	30,25
Bioma Pantanal	Corumbá	1	76,92	18,92	75,17	3,97	1:1	0,20	0,46	5,09
		2	75,88	20,05	73,71	3,68	1:1	0,22	0,49	4,62
		3	71,66	24,95	69,56	2,79	1:1	0,35	0,58	3,33
		4	79,74	15,31	77,88	5,09	1:1	0,16	0,35	6,23
		5	73,20	20,92	97,67	4,67	1:1	0,27	0,53	3,65
		6	78,80	16,54	76,83	4,65	1:1	0,18	0,38	5,63
		7	83,41	12,78	81,98	6,41	1:1	0,12	0,28	8,25
		8	68,58	28,39	66,91	2,36	1:1	0,20	0,76	4,88
		9	77,86	16,38	75,45	4,61	1:1	0,19	0,39	5,34
		10	75,24	21,28	73,80	3,47	1:1	0,18	0,51	5,63
		Média	76,13	19,55	76,90	4,17	-	0,21	0,47	5,27
		CV(%)*	5,59	23,85	10,94	28,29	-	31,58	28,94	26,14
	Aquidauana	1	66,09	25,40	44,38	1,75	6:1	0,41	0,63	2,63
		2	62,89	33,61	46,21	1,37	19:1	0,44	1,02	2,30
		3	75,57	20,30	74,14	3,65	1:1	0,20	0,49	4,91
		4	67,05	27,91	62,20	2,23	5:1	0,39	0,81	2,56
		5	68,97	25,62	64,41	2,51	4:1	0,35	0,71	2,88
		6	66,33	29,19	57,32	1,96	5:1	0,41	0,81	2,46
		7	70,01	22,91	55,67	2,43	9:1	0,34	0,63	2,99
		8	74,13	21,35	67,84	3,18	3:1	0,25	0,52	4,03
		9	73,85	20,74	59,79	2,88	15:1	0,27	0,53	3,86
		10	67,61	24,89	64,93	2,61	4:1	0,40	0,79	2,55
Média	69,25	25,19	59,69	2,46	-	0,35	0,69	3,12		
CV(%)*	5,94	16,65	15,49	27,55	-	23,12	23,95	27,50		

* Coeficiente de variação. As somatórias são de ácidos graxos: AGI (insaturados); AGS (saturados); AGMI (monoinsaturados). As razões são entre as somatórias dos grupos: ácidos graxos monoinsaturados/saturados (AGMI/AGS) e ômega-6/ômega-3 (ω -6: ω -3). IA: Índice de aterogenicidade. IT: Índice de trombogenicidade; H/H: Razões entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos.

Alguns ácidos graxos saturados possuem a característica de elevar os níveis de LDL-colesterol e reduzir os níveis de HDL-colesterol, aumentando os riscos de doenças coronarianas (Mahan & Escott-Stump, 2005; Driskell, 2006). Em contraste ao IA e IT, valores mais elevados são desejados para razão entre os ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos (H/H) (Bentes, Souza, Mendonça & Simões, 2009). A maior razão H/H foi observada na região de Corumbá, bioma

Pantanal (5,27) e a menor na região de São Gabriel do Oeste, bioma Cerrado (2,66) (Tabela 2).

De acordo com o perfil de ácidos graxos reportados de Basiron (2005), Firestone (2005) e Hammond, Johnson, Su, Wang & White (2005), calcularam-se os índices de aterogenicidade, trombogenicidade e razão entre ácidos graxos hipocolesterolêmicos e hipercolesterolêmicos do óleo de palma bruto, azeite de oliva europeu e óleo de soja. O óleo de palma apresentou IA (0,98) e IT (1,93) superior ao encontrado no óleo de polpa de macaúba, no entanto, resultados inferiores foram observados no azeite de oliva, IA 0,10 e IT 0,24, e óleo de soja, IA 0,13 e IT 0,24. Estes índices sugerem que o óleo de polpa de macaúba apresente maior disponibilidade de ácidos graxos anti-aterogênicos do que o óleo de palma, visto que este último demonstrou índices mais elevados. Por outro lado, o azeite de oliva e óleo de soja apresentaram índices mais desejáveis do que o óleo de polpa de macaúba. Em relação à razão H/H, o óleo de palma apresenta menor quantidade de ácidos graxos hipocolesterolêmicos (1,10), enquanto o azeite de oliva (10,37) e o óleo de soja (7,77) apresentam maiores concentrações em comparação com o óleo de polpa de macaúba.

Os óleos de peixes estão sendo associados a diversos efeitos benéficos a saúde humana. Ramos Filho, Ramos, Hiane & Souza (2008) avaliando a fração lipídica dos peixes cachara e pacu, obtiveram índices de aterogenicidade de 0,54 e 0,86 e índice de trombogenicidade de 0,59 e 1,16, respectivamente. Ambos os valores superiores ao encontrado no óleo de polpa de macaúba, indicando que este último contém quantidades de ácidos graxos anti-aterogênicos maiores aos encontrados nas espécies de peixes avaliadas.

A razão H/H do óleo de polpa macaúba se mostra melhor do que ao observado na fração lipídica de alguns peixes. Valores inferiores ao encontrado no óleo de polpa de macaúba podem ser observados nos óleos de peixes como cachara (1,75), pintado (1,84), pacu (1,66), dourado (1,49) e salmão (2,34) (Ramos Filho et al., 2008; Tonial, Oliveira, Bravo, Souza, Matsushita & Visentainer, 2010).

Experimentos *in vivo* com modelos animais e humanos são necessários para avaliar o real impacto que o consumo de óleo de polpa de macaúba teria sobre o metabolismo lipídico. Deste modo, poderia se avaliar de maneira consistente os indicativos dados pelos índices de qualidade nutricional obtidos neste estudo.

Propriedades térmicas

O comportamento térmico médio do óleo de polpa de macaúba pode ser observado através da curva de TG/DTG (termogravimetria/Derivada da termogravimetria) (Figura 1). Para todas as amostras a curva TG demonstrou perda de massa do óleo de polpa de macaúba em três eventos.

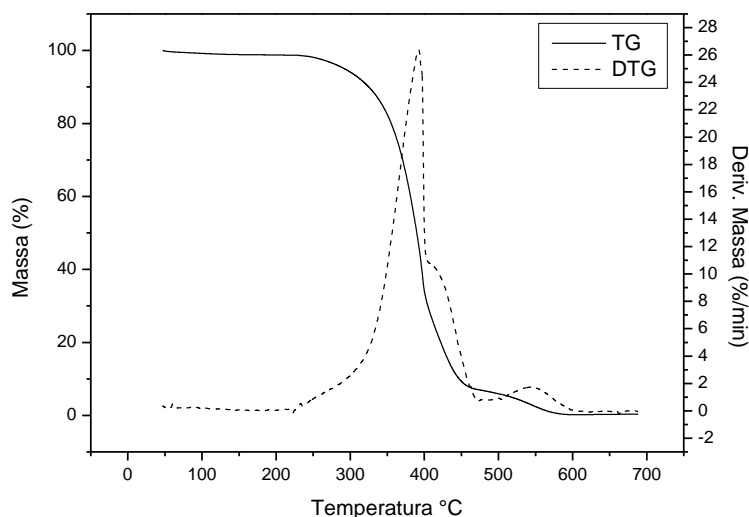


Figura 1. Curva de Termogravimetria e Derivada da Termogravimetria (TG/DTG) do óleo de polpa de macaúba em rampa de aquecimento, com razão de 20 °C/min, em atmosfera de ar sintético com fluxo de 100 mL/min na faixa de 20 a 700 °C.

A primeira perda de massa iniciou entre 193,58 a 247,25 °C, representando de 56,98% a 86,19% (Tabela 3). O óleo de oliva demonstrou decomposição dentro da faixa encontrada para o óleo de polpa de macaúba no primeiro evento, 70,2% (Santos, Souza, Prasad, Santos, & Santos, 2002). Esta tendência ao mesmo comportamento térmico possivelmente está associada ao perfil de ácidos graxos similar entre estes óleos.

Óleos com elevadas concentrações de ácidos graxos insaturados não perdem massa em um único evento. Isto ocorre devido à formação de compostos primários e secundários de oxidação (Saad, Wai, & Lim, 2008). Alguns autores sugerem que o primeiro evento de decomposição está relacionado a ácidos graxos poliinsaturados, seguido dos monoinsaturados e por último aos saturados (Souza, Santos, Conceição, Silva, & Prasad 2004). No entanto, para óleos com elevadas proporções de monoinsaturados, como no caso do óleo de polpa de macaúba, o primeiro evento

de decomposição provavelmente está associado aos ácidos graxos monoinsaturados, uma vez que estes se encontram em maior proporção (Tabela 1).

O segundo evento pode estar associado à decomposição dos ácidos graxos poliinsaturados e o último dos saturados, com perda de massa variando de 5,42 a 29,48% e 6,05 a 12,97%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Termogravimetria (TG) e Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) de óleo de polpa de frutos de macaúba provenientes dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Planta	Evento	TG				Resíduo (%)	Onset (°C)	DSC			
		Ti (°C)	Tf (°C)	Massa Perdida (%)				Ti (°C)	Tf (°C)	Tp (°C)	Entalpia (J/g)
Campo Grande	1	193,58	387,08	57,84				215,83	395,97	358,16	2703
	2	387,08	483,12	28,49	0,00	246,29		467,90	618,02	550,87	1285
	3	483,12	598,23	12,12				-	-	-	-
	1	247,25	406,85	72,01				231,47	415,36	342,42	3403
	2	406,85	476,06	14,83	0,31	254,96		516,69	621,15	551,96	307,70
	3	476,06	603,17	11,56				-	-	-	-
	1	228,89	391,31	58,75				224,59	400,35	362,98	3220
	2	391,31	481,00	27,38	0,75	249,41		400,35	456,02	420,67	190,90
	3	481,00	607,41	10,82				456,02	628,66	559,66	1035
	1	213,77	403,99	67,36				223,34	410,99	326,43	3664
	2	403,99	480,51	17,79	0,56	300,68		482,92	621,15	560,86	1222
	3	480,51	597,80	12,97				-	-	-	-
	1	231,01	406,14	68,84				235,85	409,73	319,87	3428
	2	406,14	478,17	15,38	0,00	306,52		464,15	614,27	554,62	1271
	3	478,17	600,35	11,90				-	-	-	-
	1	223,24	400,49	67,11				221,46	460,40	376,74	2971
	2	400,49	481,00	20,95	0,00	308,73		460,40	517,32	485,13	32,97
	3	481,00	613,06	9,24				517,32	636,16	576,26	175,10
	1	218,29	398,37	64,54				202,70	404,10	353,40	2319
	2	398,37	476,76	20,33	0,05	264,87		404,10	450,39	428,55	38,65
	3	476,76	600,35	12,39				450,39	632,41	558,56	921,40
São Gabriel do Oeste	1	245,84	416,03	70,54				212,08	408,48	320,75	3845
	2	416,03	472,53	10,40	0,11	248,71		469,16	627,40	555,56	1136
	3	472,53	606,70	11,96				-	-	-	-
	1	204,88	398,37	68,64				199,56	402,89	352,40	2522
	2	398,37	476,76	18,30	0,00	279,17		470,34	622,68	558,76	833,40
	3	476,76	597,08	11,94				-	-	-	-
	1	224,49	391,84	63,75				224,27	399,72	356,43	2495
	2	391,84	474,08	22,52	0,24	290,16		399,72	461,80	429,47	24,20
	3	474,08	597,08	11,17				461,80	624,58	560,39	580,40
	1	224,49	414,01	68,75				212,87	473,20	392,69	3539
	2	414,01	484,80	19,96	0,00	326,75		473,20	511,84	485,11	9,47
	3	484,80	604,23	6,87				511,84	628,38	569,58	238,20
	1	237,36	399,70	61,05				205,90	457,36	384,61	3098
	2	399,70	483,37	25,04	0,00	321,66		457,36	510,57	482,23	40,04
	3	483,37	590,65	7,06				510,57	625,22	569,66	201,90
	1	211,62	409,71	67,06				195,13	466,86	389,73	2816
	2	409,71	480,51	18,53	6,35	316,02		466,86	497,27	475,91	9,92
	3	480,51	602,80	6,05				497,27	623,95	554,75	257,60
	1	222,35	400,42	68,16				204,00	466,23	381,48	3533
	2	400,42	489,81	24,10	0,00	323,33		466,23	506,77	483,34	16,98
	3	489,81	599,23	7,53				506,77	623,95	562,48	264,40
	1	222,35	402,56	67,09				204,63	461,80	392,80	3507
	2	402,56	472,65	24,53	0,21	326,21		461,80	511,84	477,38	45,13
	3	472,65	595,65	6,85				511,84	626,48	566,90	230,50
	1	228,07	409,00	67,42				202,73	463,06	398,80	3358
	2	409,00	485,52	23,11	0,42	333,72		463,06	513,10	483,10	41,80
	3	485,52	593,51	6,93				513,10	620,15	569,71	234,40
	7	218,77	443,33	86,19	0,26	326,36		224,27	509,94	395,50	3551

Corumbá	2	443,33	484,80	5,42			509,94	625,85	569,03	235,30
	3	484,80	596,37	7,30			-	-	-	-
	1	205,18	399,70	63,62			187,53	470,67	388,08	4014
	2	399,70	484,09	29,48	0,00	329,81	470,67	520,07	488,76	42,88
	3	484,09	594,94	6,98			520,07	625,85	582,25	278,20
	1	244,52	401,85	62,41			221,10	409,22	362,41	2350
	2	401,85	481,23	21,06	0,37	310,43	409,22	456,73	428,26	42,42
	3	481,23	600,66	9,73			456,73	621,42	555,47	793,30
	1	220,20	393,27	58,73			214,77	408,59	359,52	2294
	2	393,27	481,23	23,25	0,00	290,26	408,59	459,26	434,42	42,15
	3	481,23	597,08	8,97			459,26	615,72	555,74	702,40
	1	232,36	400,42	64,32			230,60	466,86	373,73	3162
	2	400,42	476,94	18,87	0,89	322,98	466,86	620,78	559,02	710,00
	3	476,94	599,23	9,95			-	-	-	-
	1	221,63	397,56	62,49			221,73	464,96	379,40	2862
	2	397,56	481,23	23,91	0,00	323,28	464,96	511,84	483,61	22,98
	3	481,23	597,08	7,64			511,84	618,25	568,60	194,20
	1	216,63	399,70	69,68			217,93	475,10	371,75	310,87
	2	399,70	481,94	18,02	0,35	316,67	475,10	623,32	558,75	557,20
	3	481,94	597,08	10,05			-	-	-	-
	1	227,35	390,41	59,32			223,00	403,52	352,17	2277
	2	390,41	481,23	24,96	0,32	283,49	403,52	464,96	425,84	80,12
	3	481,23	612,10	11,49			464,96	632,19	559,62	835,00
	1	228,78	386,83	59,78			222,37	412,39	360,65	2382
	2	386,83	481,94	28,41	0,27	296,49	412,39	458,00	435,16	25,74
	3	481,94	598,51	10,53			458,00	618,25	557,52	668,10
	1	235,22	388,26	60,10			231,24	407,96	357,83	2570
	2	388,26	478,37	24,11	0,18	306,81	407,96	475,73	423,30	68,62
	3	478,37	599,94	9,96			475,73	620,78	567,47	415,90
	1	236,65	416,87	70,87			226,80	459,90	373,49	2868
	2	416,87	479,08	13,92	0,00	333,25	459,90	614,45	554,91	797,20
	3	479,08	591,36	10,02			-	-	-	-
	1	225,92	386,83	56,98			218,57	459,26	365,64	2830
	2	386,83	479,08	26,60	0,23	317,99	459,26	632,82	558,79	775,00
	3	479,08	597,08	10,02			-	-	-	-
Aquidauana	1	214,06	396,96	59,07			195,19	407,86	347,88	2417
	2	396,96	483,12	21,48	0,55	289,14	407,86	466,65	425,10	72,09
	3	483,12	602,47	11,89			466,65	623,03	559,57	822,08
	1	224,65	402,61	65,14			203,95	409,73	354,89	2721
	2	402,61	478,88	17,70	0,63	289,47	409,73	442,26	423,29	40,54
	3	478,88	598,93	11,17			442,26	621,15	559,46	740,40
	1	204,17	389,19	59,99			200,82	395,97	349,37	2034
	2	389,19	477,47	23,64	0,22	259,13	395,97	451,02	414,25	76,14
	3	477,47	593,28	11,97			451,02	623,03	559,76	888,1
	1	237,36	404,02	65,38			213,96	412,86	342,05	2667
	2	404,02	480,29	14,95	0,01	269,70	412,86	454,14	432,61	22,59
	3	480,29	606,00	11,30			454,14	619,90	556,83	978,6
	1	222,53	396,26	64,32			212,71	410,99	342,41	2619
	2	396,26	478,17	17,82	0,16	272,11	410,99	465,40	424,25	56,69
	3	478,17	605,29	11,75			465,40	624,90	558,45	792,90
	1	228,18	420,27	74,95			218,33	421,62	342,97	3010
	2	420,27	477,47	9,50	0,17	277,88	421,62	452,89	431,39	18,83
	3	447,47	606,70	11,44			452,89	626,78	554,99	848,70
	1	217,59	396,96	64,60			208,95	410,99	352,32	2663
	2	396,96	481,00	22,68	0,00	284,19	410,99	442,26	421,79	37,04
	3	481,00	603,88	11,65			442,26	624,28	558,00	867,30
	1	235,95	403,32	64,94			199,57	410,36	340,51	2516
	2	403,32	473,94	15,99	1,39	253,54	410,36	439,13	423,75	18,44
	3	473,94	596,82	11,96			439,13	618,65	548,01	1363
	1	222,53	402,61	66,38			215,21	408,48	346,20	2656
	2	402,61	476,06	18,36	0,00	283,92	408,48	440,38	423,75	20,89
	3	476,06	594,70	12,20			440,38	616,77	555,69	910,50
	1	222,53	401,91	69,71			221,46	409,11	354,07	2654
	2	401,91	472,53	15,83	0,26	285,00	409,11	461,65	426,33	26,73
	3	520,55	607,41	6,76			461,65	625,53	558,10	585,50

Ti = Temperatura inicial; Tf = Temperatura Final; Tp = Temperatura do pico

A massa residual demonstrou perda total em todas as regiões, representando aproximadamente 35% das amostras avaliadas (Tabela 3). A região de São Gabriel do Oeste demonstrou a maior quantidade de resíduo, 6,35% em um indivíduo (Tabela 3). Geralmente, óleos altamente insaturados apresentam perda de massa residual em torno de 100%, enquanto que óleos saturados demonstram maior teor de resíduos (Santos et al., 2002).

O fluxo de energia no óleo de macaúba sob atmosfera de ar sintético apresentou eventos exotérmicos (Figura 2). A região de Aquidauana apresentou três eventos de liberação de energia, enquanto Campo Grande, São Gabriel do Oeste e Corumbá variaram de dois a três eventos (Figura 2).

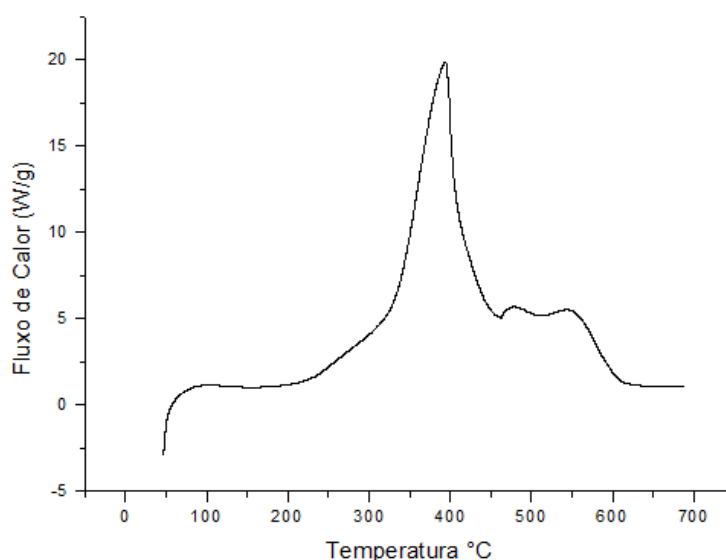


Figura 2. Curva Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) do óleo de polpa de macaúba em rampa de aquecimento, com razão de 20 °C/min, em atmosfera de ar sintético com fluxo de 100 mL/min na faixa de 20 a 700 °C.

A temperatura inicial de oxidação, indicada como *onset*, demonstra a estabilidade oxidativa dos óleos. As amostras avaliadas apresentaram *onset* variando de 246,29 a 333,72 °C. São Gabriel do Oeste demonstrou ser a região com melhor estabilidade oxidativa, uma vez que apresentou valores de *onset* mais elevados.

O processo de oxidação está diretamente relacionado com a presença de insaturações na cadeia carbônica dos lipídeos, ou seja, quanto maior o número de duplas ligações, maior a susceptibilidade a degradação (Frega et al., 1999). O óleo

de soja, por exemplo, apresenta menor estabilidade oxidativa do que a gordura de coco, por conter 85% e 40% de ácidos graxos insaturados, respectivamente (Canapi, Agustin, Moro, Pedrosa & Benadô Junior, 2005; Hammond et al., 2005).

O óleo de polpa de macaúba demonstrou ser mais estável que o óleo de soja e girassol, que apresentam *onset* de 172,9 °C e 193,2 °C (Erham, Sharma & Perez, 2006), respectivamente. Isto se deve pelo fato do óleo de polpa de macaúba apresentar quantidades superiores de ácido graxo monoinsaturado quando comparado a estes dois óleos. O óleo de oliva apresenta temperatura inicial de oxidação (288 °C) (Dweck & Sampaio, 2004) dentro do intervalo observado no óleo de polpa de macaúba.

Normalmente, óleos altamente insaturados apresentam temperatura de *onset* mais baixas. Porém o óleo de polpa de macaúba é rico em ácido monoinsaturado oléico, o qual possui excelente estabilidade oxidativa (Petukhov, Malcolmson, Przybylski & Armstrong, 1999). Este óleo também possui elevadas concentrações de compostos antioxidantes naturais, como os carotenóides, o que pode elevar ainda mais sua estabilidade (Coimbra & Jorge, 2011).

A fração lipídica da polpa de macaúba caracterizou-se por excelentes índices nutricionais e elevada quantidade de ácido graxo monoinsaturado oléico, o que influenciou na alta temperatura inicial de oxidação. Deste modo, o óleo de polpa de macaúba atende à atual demanda por óleos com características nutricionais adequadas e à premissa industrial por estabilidade oxidativa.

4. Conclusão

O perfil de ácidos graxos do óleo de polpa de macaúba demonstrou semelhança ao azeite de oliva. O ácido graxo majoritário, em todas as regiões, foi o monoinsaturado oléico, variando de 47,05% em São Gabriel do Oeste a 72,59% em Corumbá. A região de Corumbá além de apresentar as maiores concentrações deste ácido graxo também demonstrou os melhores índices de qualidade nutricional. O óleo de polpa de macaúba mostrou ser mais adequado para a saúde humana quando comparado ao óleo de palma. As análises térmicas indicaram alta estabilidade oxidativa para o óleo de polpa de macaúba, mostrando-se similar ao azeite de oliva e superior ao óleo de soja e girassol. São Gabriel do Oeste revelou-se a região com maior temperatura inicial de oxidação. Esta propriedade permite sua aplicação em

processos de frituras, além de garantir maior estabilidade durante o processo de armazenamento.

Referências Bibliográficas

ASTM. (2004). American Society for Testing & Material, Standard E 2009 – 02; *Standar Test Method for Oxidation Onset Temperature of Hydrocarbons by Disserential Scanning Calorimetry*, Philadelphia: PA

Basiron, Y. (2005). Palm Oil. In: F. Shahidi (6 ed.), *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 333-429). New York: Wiley-Interscience.

Bentes, A. de S., Souza, H. A. L. de, Mendonça, X. M. F. D., & Simões, M. G. (2009). Caracterização física e química e perfil lipídico de três espécies de peixes amazônicos. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 03, 97-108.

Canapi, E. C., Agustin, Y. T. V., Moro, E. A., Pedrosa, E., & Benadão Junior, M. L. J. (2005). Coconut Oil. In: F. Shahidi (6 ed.). *Bailey's Industrial oil and fat products*. (pp. 123-147) New York: Wiley-Interscience.

Chung, M. J., Kang, A. Y., Park, S. O., Park, K. W., Jun, H. L., & Lee, S. J. (2007). The effect of essential oils of dietary wormwood (*Artemisia princeps*), with and without added vitamin E, on oxidative stress and some genes involved in cholesterol metabolism. *Food and Chemical Toxicology*, 45, 1400-1409.

Coimbra, M. C., & Jorge, N. (2011). Proximate composition of guariroba (*Syagrus oleracea*), jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) and macaúba (*Acrocomia aculeate*) palm fruits. *Food Research International*. 44, 2139-2142.

Driskell, J. A. (2006). *Sports Nutrition: Fats and Proteins*. Boca Raton: CRC.

Dweck, J., & Sampaio, C. M. S. (2004). Analysis of the thermal decomposition of commercial vegetable oils in air by simultaneous TG/DTA. *Journal of Thermal Analysis and Colorimetry*, 75, 385-391.

Erham, S. Z., Sharma, B. K., & Perez, J. M. (2006). Oxidation and low temperature stability of vegetable oil-based lubricants. *Industrial Crops and Products*, 24, 292-299.

Fagundes, L. A. (2002). *Ômega-3 & ômega-6 – O equilíbrio dos ácidos gordurosos essenciais na prevenção de doença*. Porto Alegre: Ed. Age Ltda.

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

Frega, N., Mozzon, M., & Lercker, G. (1999). Effects of free acids on oxidative stability of vegetable oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 325-329.

Funk, C. D. (2001). Prostaglandins and leukotrienes: advances in eicosanoid biology. *Science*, 294, 1871-1875.

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

Hiane, P. A., Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., & Macedo, M. L. R. (2005). Bocaiuva, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd., pulp and kernel oils: Characterization and fatty acid composition. *Brazilian Journal of Food Technology*, 8, 256-259.

Huang, C. L., & Sumpio, B. E. (2008). Olive oil, the Mediterranean diet and cardiovascular health. *Journal of the American College of Surgeons*, 207, 407-416.

Hur, S. J., Park, G. B., & Joo, S. T. (2007). Formation of cholesterol oxidation products (COPs) in animal products. *Food Control*, 18, 939-947.

Kris-Etherson, P. M., Griel, A. E., Psota, T. L., Gebauer, S. K., Zhang, J., & Etheson, T. D. (2005). Dietary stearic acid and risk of cardiovascular disease: intake, sources, digestion and absorption. *Lipids*, 40, 193-200.

Korver, O., & Katan, M. B. (2006). The elimination of trans fats from spreads. How science helped to turn in industry around? *Nutrition Reviews*, 64, 275-279.

Lin, S. W., & Huey, S. M. (2009). High oleic enhancement of palm olein via enzymatic interesterification. *Journal of Oleo Science*, 58, 549-555.

Mahan, L. K., & Escott-Stump, S. (2005). *Krause – Alimentos, Nutrição e Dietoterapia*. (11 ed.) São Paulo: Roca

Martin, C. A., Almeida, V. V., Ruiz, M. R., Visentainer, J. E. L., Matshushita, M., Souza, N. E., & Visentainer, J. V. (2006). Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. *Revista de Nutrição*, 19, 761-770.

NCEP - National Cholesterol Education Program. (2002). Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*, 106, 3143-3421.

Panagiotakos, D. B., Dimakopoulou, K., Katsouyanni, K., Bellander, T., Grau, M., Koenig, W., Lanki, T., Pistelli, R., Schneider, A., & Peters, A. (2009). Mediterranean diet and inflammatory response in myocardial infarction survivors. *International Journal of Epidemiology*, 38, 856-866.

Petukhov, I., Malcolmson, L. J., Przybylski, R., & Armstrong, L. (1999). Frying performance of genetically modified canola oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, 627-632.

Ramos, M. I. L., Siqueira, E. M. A., Isomura, C. C., Barbosa, A. M. J., & Arruda, S. F. (2007). Bocaiuva (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood) improved vitamin A status in rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 22, 3186-3190.

Ramos Filho, M. M., Ramos, M. I. L., Hiane, P. A., & Souza, E. M. T. de (2008). Perfil lipídico de quatro espécies de peixes da região pantaneira de Mato Grosso do Sul. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, 361-365.

Ratter, J. A., Bridgewater, S., & Ribeiro, J. F. (2003). Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, 60, 57-109.

Saad, B., Wai, W. T., & Lim, B. P. (2008). Comparative study on oxidative decomposition behavior of vegetable oils and its correlation with iodine value using thermogravimetric analysis. *Journal of Oleo Science*, 57, 257-261.

Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., & Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. Fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77, 187-194.

Santos, J. C. O., Souza, A. G., Prasad, S., Santos, I. M. G., & Santos, I. V. (2002). Thermal stability and kinetic parameters of thermal decomposition of commercial edible oils by thermogravimetry. *Journal of Food Science*, 67, 1363-1369.

Souza, A. G., Santos, J. C. O., Conceição, M. M., Silva, M. C. D., & Prasad, S. (2004). A Thermoanalytic and Kinetic Study of Sunflower Oil. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 21, 265-273.

Tonial, I. B., Oliveira, D. F. de, Bravo, C. E. C., Souza, N. E. de, Matsushita, M., & Visentainer, J. V. (2010). Caracterização físico-química e perfil lipídico do salmão (*Salmo salar* L.). *Alimentos e Nutrição*, 21, 93-98.

Turan, H., Sonmez, G., & Kaya, Y. (2007). Fatty acid profile and proximate composition of the thornback ray (*Raja clavata*, L 1758) from the Sinop coast in the Black Sea. *Journal of Fisheries Sciences*, 01, 97-103.

Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *Lancet*, 338, 985 – 992.

Vassiliou, E. K., Gonzalez, A., Garcia, C., Tadros, J. H., Chakraborty, G., & Toney, J. H. (2009). Oleic acid and peanut oil high in oleic acid reverse the inhibitory effect of insulin production of the inflammatory cytokine TNF- α both *in vitro* and *in vivo* systems. *Lipids in Health and D*

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou elevada variabilidade nas características fenotípicas dos frutos e propriedades físico-química do óleo de polpa de macaúba. Características visuais não podem ser utilizadas como indicadores do teor de óleo em frutos de macaúba. Ou seja, provavelmente frutos com maior massa não apresentaram maior rendimento em óleo.

Estimativas de produção de óleo a partir de frutos de Mato Grosso do Sul mostraram-se inferior ao estimado para frutos da região de Minas Gerais. O óleo de polpa de macaúba apresentou excelente qualidade físico-química intrínseca, onde todas as amostras mostraram-se ausentes de peróxidos e com acidez inferior a 1%.

A região de Campo Grande demonstrou maior produtividade de frutos frescos, rendimento de óleo de polpa e amêndoa e geração de co-produtos. São Gabriel do Oeste, embora tenha apresentado os frutos com maior massa e dimensão, foi a região com menor conteúdo lipídico, carotenóides e porção de ácido oléico. Porém, esta região obteve a maior concentração de ácido linoléico ($\omega 6$) e linolênico ($\omega 3$), os quais são considerados essenciais para os seres humanos. Além de apresentar melhor estabilidade oxidativa, uma vez que todas as amostras avaliadas em São Gabriel do Oeste apresentaram *onset* superior a 300 °C.

Corumbá caracterizou-se pelos frutos de menor massa e diâmetro. No entanto, esta região demonstrou a maior porção comestível, maior teor de óleo na amêndoa, maior porção de ácido oléico e melhor qualidade nutricional. Aquidauana revelou-se como a região de maior teor de carotenóides totais, β -caroteno e retinol equivalente, forma ativa da vitamina A.