

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRUTOS DE TUCUMÃ
(*Astrocaryum aculeatum*) PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL.**

REAN AUGUSTO ZANINETTI

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRUTOS DE TUCUMÃ
(*Astrocaryum aculeatum*) PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL.**

REAN AUGUSTO ZANINETTI

**Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo
Co-orientador: Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Novembro de 2009

Z31c Zaninetti, Rean Augusto

Caracterização do óleo de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para produção de biodiesel. Rean Augusto Zaninetti – – Jaboticabal, 2009.

xi, 47 f.; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Co-orientador: Dr^o. Gabriel Maurício Peruca de Melo

Banca examinadora: Dr Afonso Lopes, Dr. Nelson Ramos Stradiotto

Bibliografia

1. óleo combustível. 2. palmeira. 3. rendimento de prensa. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU: 631.416:622.754

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

REAN AUGUTO ZANINETTI – nascido na cidade de São Carlos – SP em 30 de junho de 1981.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal – SP em 2007, e teve como orientadores no seu trabalho de Graduação o Prof. Dr. Ricardo Andrade Reis e da Dra. Liandra Maria Abaker Bertipaglia.

Durante a formação acadêmica foi bolsista do Programa de iniciação científica financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por dois anos.

Ingressou no curso de Mestrado em Agronomia com área de concentração em Ciência do Solo junto à Universidade Estadual Paulista FCAV, Câmpus de Jaboticabal, em agosto de 2007, sob a orientação do Prof. Dr. Wanderley José de Melo e do Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo, como bolsista CAPES.

*Aos meus pais, Reinaldo e Antonia
pela educação, amor, carinho e
ensinamento
obrigado*

*A você Reinaldo meu irmão,
amigo e principalmente
companheiro de toda vida,
Obrigado por tudo.*

amo muito vocês!!!!!!

DEDICO

*A uma pessoa muito especial que foi
de fundamental importância na conclusão
desta dissertação,*

Você mora no meu coração

Te amo

Janiffe

OFEREÇO

À Deus,

*pelo dom da vida, e por ter trilhado
caminhos certos para minha jornada*

e

À Nossa Senhora Aparecida,

pela sua constante

proteção

AGRADEÇO EM ESPECIAL

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Agrônoma (Ciências do Solo), por toda a contribuição em minha formação pessoal e profissional.

Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Wanderley José de Melo, pela amizade, orientação, incentivos, oportunidades e ensinamentos transmitidos nesses anos de convivência e ao Dr. Gabriel Maurício Peruca de Melo, pela orientação, ensinamentos. Serei eternamente grato!

Ao Professor Dr. Antonio Sergio Ferraudo pela sua amizade, contribuição e intensa ajuda com as análises multivariadas.

Aos Professores Dr. Afonso Lopes, Dr. José Carlos Barbosa e Dr. Nelson Ramos Stradiotto pela ajuda nas correções.

Aos Professores do programa de Pós-Graduação em Agrônoma (Ciências do Solo) pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas cursadas.

Agradeço com carinho aos amigos da República Mundo Sertanejo, Reinaldo (Apênico), Henrique (Kdera), Petterson (Pet), Paulo, e aos novos integrantes Giovani (Boizão) e Fabrício (Massa) pela amizade, companherismo, fraternidade, paciência, momentos de alegria e gargalhadas e principalmente dedicação nas horas de dificuldade que a vida nos presta.

À Rose e a Regina que nos ajudaram a manter a ordem na república.

À todos meus amigos(as) de Jaboticabal e a todos amigos(as) que sempre estiveram na torcida por mim.

À todos os amigos(as) que fiz em Rio Branco, Acre.

Aos amigos Joanna e Evandro (mateiro), pela amizade e colaboração e enorme ajuda, sou muito grato.

Aos amigos Marcelo e Fabiana da Unesp de Araraquara pela ajuda intensa com as análises, muito obrigado!

Ao amigo e professor de línguas estrangeiras Alcides Cintra (Tidão). Obrigado

Aos meus familiares que me apoiaram em mais uma importante etapa de minha vida.

As Professoras da Universidade Federal do Acre (UFAC) Dra. Anelise Maria Regiane e Dra. Maria Luzenira de Souza pela ajuda e orientação nos experimentos realizados no Acre. Muito obrigado!

Aos Drs. da Embrapa, Paulo Guilherme Salvador Wadt e Sandra Tereza Teixeira pelo apoio e suporte que me forneceram.

À todos funcionários da Unidade de Tecnologia de Alimentos - UTAL, em especial Rui, Sr. Oliveira, Sr. João, Sr. Sebastião, Rebouças, Dona Fátima e Cídia, pelo auxílio prestado.

Aos funcionários da Embrapa Sr. Claudir e Pedrinho pelos grandes auxílios prestados.

CNPq e CAPES.

SUMÁRIO

	Páginas
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Locais de colheita dos frutos	13
3.2. Plantas selecionadas para coleta dos frutos	15
3.3. Colheita e preparo dos frutos	16
3.4. Extração do óleo para produção do biodiesel	17
3.5. Determinação dos teores de lipídios totais e rendimento	19
3.6. Amostragem e análise de solo	20
3.7. Análises físicas do óleo da polpa de tucumã	21
3.7.1. Densidade	21
3.7.2. Viscosidade	22
3.8. Análises químicas do óleo da polpa de tucumã	22
3.8.1. Índice de Acidez	22
3.8.2. Índice de Iodo	22
3.8.3. Índice de Peróxido	22
3.8.4. Índice de Saponificação	23
3.9. Análises Cromatográficas do óleo da polpa de tucumã	23
3.10. Cálculos e análise dos resultados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Teores de lipídios totais presente na amêndoa e na polpa de tucumã e o rendimento aparente de extração do óleo por uma prensa contínua	26
4.2. Características físico-químicas e cromatográficas de óleos extraídos da polpa de frutos de tucumã	31

4.3. Avaliação da fertilidade do solo, quantidade no fruto, lipídeos totais em amêndoa e polpa e produtividade de óleo respeitando a estrutura mulvariada contida nos dados.	36
5. CONCLUSÕES	40
6. REFERÊNCIAS.....	41

LISTA DE TABELAS

	Páginas
TABELA 1 - Pontos centrais dos locais de amostragem georreferenciados.	14
TABELA 2 - Análise química de solo coletados dos diferentes locais amostrados. ...	21
TABELA 3 - Porcentagem de amêndoas nos frutos, teores de água e lípidos totais. ...	26
TABELA 4 - Porcentagem de polpa nos frutos, teores de água e lípidos totais.	28
TABELA 5 - Característica físico-químicas do óleo da polpa de tucumã.....	31
TABELA 6 - Ácidos graxos presentes no óleo do tucumã.	35

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1 - Cachos de Tucumã (<i>Astrocaryum aculearum</i>) com frutos verdes.....	7
FIGURA 2 - Pontos centrais dos locais amostrados no Acre, ao longo das BR-364 e BR-317, imagem adaptada do Google Earth.	15
FIGURA 3 - Frutos em estágio diferente de amadurecimento (A e B); frutos totalmente maduros (C).	16
FIGURA 4 - Ilustração das etapas da metodologia: A) Pesagem dos trinta frutos; B) Despulpagem: a- frutos inteiros, b- polpa, c- castanha ou caroço; C) Secagem da polpa em estufa de ventilação forçada; D) Mini Prensa ERCITEC Modelo MPE-40 com adaptação para MTD 5 cv.	19
FIGURA 5 - Prensagem da polpa de tucumã (<i>Astrocaryum aculeatum</i>): a) extração do óleo; b) amostra do óleo.	30
FIGURA 6 - Gráfico bidimensional dos componentes principais 1 e 2 mostrando as distribuições das amostras e dos autovetores das variáveis analisadas.	36
FIGURA 7 - Gráfico bidimensional dos componentes principais 1 e 3 mostrando as distribuições das amostras e dos vetores das variáveis analisadas.	39

CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE FRUTOS DE TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum*) PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

RESUMO – Na região Amazônica Sul - Ocidental encontram-se espécies cujos frutos encerram quantidade apreciável de óleo com valor econômico para diferentes aplicações industriais, como a produção de biodiesel. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do óleo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para produção de biodiesel. Os frutos de tucumã foram colhidos em áreas ao longo das BR-364 e BR-317 a aproximadamente 150 km de Rio Branco - AC. Dos frutos, avaliou-se a massa, e posteriormente foram despulpados com a finalidade de separá-los em: polpa (epicarpo + mesocarpo), castanha ou caroço (endocarpo) e amêndoas (semente retirado do interior do endocarpo), cujas massas também foram determinadas. A extração do óleo de cada fração foi feita por prensagem. Foram avaliados os teores de lipídios totais na amêndoa e na polpa, o rendimento aparente da prensa e as características físico-químicas e cromatográficas do óleo extraído. O valor médio de lipídios totais na amêndoa foi de 21,9%, enquanto que o valor médio de lipídios totais na polpa foi de 31,9%. Observou-se um rendimento aparente de 70-73%. Os valores médios de densidade, viscosidade, índice de acidez, índice de iodo, índice de peróxido e índice de saponificação foram, respectivamente, $0,903 \pm 0,003 \text{ g cm}^{-3}$; $76,3 \pm 1,6 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$; $7,11 \pm 1,47 \text{ mg KOH g}^{-1}$; $113,84 \pm 3,28 \text{ g I}_2 10^{-2} \text{ g}^{-1}$; $30,79 \pm 0,39 \text{ meq kg}^{-1}$; $211,38 \pm 1,68 \text{ mg KOH g}^{-1}$. Atrávez da cromatografia gasosa pode se determinar que 56,5% da fração dos ácidos graxo do óleo de tucumã foi constituída por ácidos graxos saturados. O tucumanzeiro é uma espécie que possui boa produtividade em óleo, mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade, apresentando potencial para ser utilizado como uma fonte adicional de renda pelas comunidades da Amazônia.

Palavras-Chave: óleo combustível, rendimento de prensa, palmeira, viscosidade, índice de iodo.

CHARACTERIZATION OF THE OIL OF FRUITS OF TUCUMÃ (*Astrocaryum aculeatum*) FOR BIODIESEL PRODUCTION

SUMMARY - In southwestern Amazonia, various plant species produce oil-rich fruits that have economic potential for the production of biodiesel. To evaluate the potential of oils extracted from tucumã palm fruits (*Astrocaryum aculeatum*), we collected fruits from pasture areas along the BR-364 and BR-317 highways, approximately 150-km from Rio Branco, Acre, Brazil. Fruits were weighed, depulped, and separated into three components: pulp (epicarp + mesocarp), nut or seed (endocarp), and kernel (extracted from the endocarp). Each component was weighed and subjected to oil extraction using a mechanical press. The oil obtained was analyzed for density and viscosity, as well as acidity, iodine, peroxide, and saponification values. The total lipids average content in the kernel was 21.9%, while the mean total lipids content in the pulp was 31.9%. An apparent yield of 70-73% was observed. Physicochemical data analyses revealed significant differences in viscosity and acidity index values among fruit samples. Average density, iodine, peroxide, and saponification values were $0.903 \pm 0.003 \text{ g cm}^{-3}$; $76.3 \pm 1.6 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$; $7.11 \pm 1.47 \text{ mg KOH g}^{-1}$; $113.84 \pm 3.28 \text{ g I}_2 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-1}$; $30.79 \pm 0.39 \text{ meq kg}^{-1}$; $211.38 \pm 1.68 \text{ mg KOH g}^{-1}$, respectively. Through gas chromatography could determine that 56.5% of fat acids portion in the tucumã oil was saturated fat acids. The tucumã palm is a good oil producer specie, even in acid and low fertility soils, showing a potential to be used as an additional income to be used by the Amazonic communities.

Key words: oil fuel, extraction press efficiency, palm, viscosity, iodine index.

1. INTRODUÇÃO

Entre as riquezas que povoam a região Amazônica Sul - Ocidental, encontra-se um grande número de espécies vegetais, cujos frutos encerram quantidade apreciável de óleo.

Recentemente, a mídia, tem dado grande ênfase a questões sobre o aquecimento global, as quais também têm sido alvo de preocupação de muitos cientistas que vêm defendendo o uso de tecnologias menos agressivas ao ambiente, diminuindo o impacto causado pelas atividades antrópicas.

O uso de energia renovável se apresenta como uma das alternativas para diminuir a emissão de gases com efeito estufa para a atmosfera, devendo vir a substituir, gradativamente, os combustíveis fósseis.

No que se refere à produção de energia renovável, o Brasil tem ocupado lugar de destaque em nível mundial devido ao uso do álcool anidro e pelos incentivos à produção de biodiesel.

Apesar de o Brasil apresentar grande potencial para ocupar posição de destaque no cenário mundial de biodiesel, ainda há muito a ser feito para a produção em grande escala deste combustível renovável, como a descoberta de novas espécies vegetais com frutos ricos em óleo que apresente características desejáveis para a produção de biodiesel de qualidade.

Inúmeras pesquisas sugerem a utilização de biomassa para fins energéticos, principalmente para uso como combustíveis. RAMOS et al. (2003b) têm descrito biomassa como sendo todos os organismos biológicos que podem ser aproveitados como fonte de energia como a cana-de-açúcar, o eucalipto, a beterraba (dos quais se

extraí álcool), o biogás (produzido pela biodegradação anaeróbica de resíduos orgânicos), lenha e carvão vegetal, alguns óleos vegetais (amendoim, soja, dendê, mamona).

A utilização da biomassa para fins energéticos vem tendo participação crescente perante a matriz energética mundial, levando a estimativas de que, até o ano de 2050, deverá dobrar sua participação na geração de energia (FISCHER, 2001).

A descoberta de plantas amazônicas com potencial para produção de biodiesel contribuirá na resolução de dois grandes problemas atuais: novas fontes de matéria prima para produção de biodiesel e uma nova fonte de renda para a população da região que, com isso, conseguiria a sonhada inclusão social.

Sendo o tucumã uma espécie oleaginosa, que ocorre na região Amazônica, a caracterização dos lipídeos que constituem seus frutos com vistas, à produção de biodiesel é de grande importância

Este trabalho teve como objetivo avaliar e identificar, por meio de abordagens multivariadas, os atributos de fertilidade do solo que influenciam na produção de óleo, bem como a caracterização do potencial do óleo de tucumã para a produção de biodiesel através da sua composição em ácidos graxos e das propriedades físico-químicas dos óleos extraídos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Uma alternativa que apresenta crescente interesse na matriz energética é a utilização de combustíveis obtidos da agricultura (etanol, biodiesel, dentre outros).

Entre as fontes de energia renováveis foi incluído, recentemente, o chamado biodiesel, resultado da transesterificação de óleos e gorduras.

Por se tratar de um tema recente, poucas informações ainda são disponíveis sobre a qualidade e a sustentabilidade das fontes de matéria prima, o rendimento do processo industrial e sobre a qualidade do biodiesel produzido em função da qualidade da matéria prima.

A partir da década de 50, com o crescimento econômico global, o mundo começou a ser sustentado por um modelo energético cada vez mais dependente do petróleo. Nessa época, já se alertava para o esgotamento das reservas petrolíferas, podendo levar a um colapso energético. A necessidade de substituição gradual do petróleo, como consequência da escassez de combustíveis fósseis, impõe a busca de alternativas, preferencialmente com combustíveis renováveis e de menor impacto ambiental.

A possibilidade do uso de óleos vegetais como combustível foi reconhecida nos primórdios das pesquisas com os motores diesel. O próprio Rudolph Diesel utilizou vários óleos vegetais nos motores e, no prefácio escrito para o livro *Termodinâmica*, o autor afirmou: “O motor diesel pode ser alimentado com óleos vegetais e poderá ajudar consideravelmente o desenvolvimento da agricultura nos países onde ele funcionar. Isso parece um sonho futuro, mas eu posso predizer com inteira convicção que esse

modo de emprego do motor diesel pode, em dado tempo, adquirir grande importância” (SÁ FILHO et al., 1979).

De uma forma geral, pode-se afirmar que monoalquil-ésteres de ácidos graxos podem ser produzidos a partir de qualquer tipo de óleo vegetal mas nem todo óleo vegetal pode (ou deve) ser utilizado como matéria prima para a produção de biodiesel. Isso porque alguns óleos vegetais apresentam propriedades não ideais, como alta viscosidade ou alto índice de iodo que são transferidas para o biodiesel e que o tornam inadequado para o uso direto em motores do ciclo diesel. Portanto, a viabilidade de cada matéria prima dependerá de respectivas competitividades técnicas, econômicas e sócio-ambiental, e passam por importantes aspectos agrônômicos como teor em óleos vegetais, produtividade por unidade de área, equilíbrio agrônômico e demais aspectos relacionados com o ciclo de vida da planta, atenção a diferentes sistemas produtivos e sua adaptação territorial, que deve ser tão ampla quanto possível, atendendo às diferentes condições edafoclimáticas (RAMOS, 1999, 2003a).

Da mesma forma importantes aspectos tecnológicos também precisarão ser atendidos e estes estão relacionados: à complexidade exigida para o processo de extração e tratamento do óleo, à presença de componentes indesejáveis, ao teor de ácidos graxos saturados, ao tipo e teor de ácidos graxos poli-insaturados e ao valor agregado dos co-produtos (RAMOS et al., 2003b).

Os óleos vegetais e derivados são reconhecidamente os substitutos mais adequados para o diesel pela possibilidade de não requererem modificações nos motores e apresentarem alto rendimento energético. Além disso, os óleos vegetais são produtos da bioconversão da energia solar, não contém enxofre e sua combustão gera menores teores de gases poluentes que o diesel.

Embora os custos de produção e transformação, calculados com base em culturas oleaginosas tradicionais de ciclo anual sejam desfavoráveis em relação aos derivados de petróleo, os derivados de óleos vegetais extraídos de culturas perenes, como o dendê, podem ser substitutos viáveis do óleo diesel (CETEC, 1983).

No Brasil as pesquisas para a obtenção de combustíveis de origem renovável para substituir os derivados de petróleo tiveram início com a crise do petróleo em 1973.

A partir dessa época foram realizados intensos trabalhos de pesquisa que levaram à criação dos programas governamentais Proálcool, com a finalidade de substituir a gasolina pelo etanol, e o Prodieisel, para substituir o petrodiesel (PARENTE, 2003). Porém, devido ao aparente fim da crise do petróleo, o programa de diesel de origem vegetal (biodiesel) foi deixado de lado.

Com a preocupação recente do aquecimento global e do seqüestro de carbono, o biodiesel apresenta-se como candidato potencial para a substituição total ou parcial do petrodiesel, pois é produzido a partir de fontes renováveis (óleos vegetais, gorduras animais e óleos da cocção de alimentos), é biodegradável e seus níveis de emissão de poluentes são inferiores aos associados aos derivados fósseis (RAMOS et al., 2003b). Além disso, o biodiesel é uma opção interessante para projetos de seqüestro de carbono, oferece vantagens sociais e econômicas, não emite componentes carcinogênicos poliaromáticos em sua combustão, atua como elemento regulador do mercado de óleos vegetais, pode ser usado puro ou em mistura sem qualquer alteração nos motores, gera aumento na vida útil dos motores devido à elevada capacidade de lubrificação, e pode ser produzido com o emprego de uma tecnologia simples, fácil de ser transferida para o setor produtivo (KUCEK et al., 2004).

O biodiesel pode, então, ser definido como combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtida pela reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool de cadeia curta, que pode ser o metanol ou etanol (PARENTE, 2003).

Hoje, no País, inúmeros materiais de origem biológica vêm sendo testados para a produção de biodiesel e já apresentando bastante sucesso como a mamona, a soja, o algodão, o amendoim, o girassol e o dendê. O importante é que as pesquisas avancem no sentido de tornar essa tecnologia viável em todas as regiões do País, fazendo-a acessível a várias comunidades, principalmente comunidades de periferia ou encerradas em regiões com baixo nível de desenvolvimento, visando, nesse sentido, à agricultura familiar.

Oleaginosas com baixo teor de óleo exigem procedimentos de extração caros e relativamente complexos que restringem a viabilidade da matéria prima àquela região

em que já existe uma capacidade instalada para o escoamento de grãos. Porém, oleaginosas com maior teor em óleos vegetais, cujos processos de extração sejam mais simplificados, certamente apresentarão melhor competitividade econômica por não exigirem operações complexas para esse objetivo. Há evidências de que alguns óleos vegetais podem oferecer essa vantagem, como os de girassol e de várias espécies de palmáceas (óleos laurílicos) (RAMOS et al., 2003b).

O Brasil é um país que ainda apresenta grandes reservas florestais, com uma flora rica e variada e com imensas possibilidades de utilização de seus produtos para diversos usos.

Na Amazônia brasileira existe um potencial de frutos e sementes ricos em óleos e com grande potencial para produção de biodiesel, caso do babaçú e do tucumã, além de uma imensidão de outras espécies totalmente desconhecidas sob o ângulo da produção de energia renovável (CASTRO, 2006), por outro lado, ainda que vivendo em meio a um oceano de riqueza natural, grande parte da população nativa não dispõe de uma fonte de recursos que permita um nível digno de vida. A exploração racional do potencial de frutos ali existentes para a produção de biodiesel poderia ser um fator adicional para a inclusão social daquela população.

É interessante mencionar que os frutos de algumas espécies vegetais ricas em óleo possuem, associada à fração lipídica bruta, uma fração de óleos essenciais, que atingem grande valor econômico na indústria de cosméticos e que podem ser previamente extraídos antes da obtenção do óleo para a produção de biodiesel.

Vale ressaltar que obtido a fração lipídica, o processo seguinte é a produção do biodiesel, que se baseia em uma reação de transesterificação.

Entre as riquezas que povoam a região Amazônica Sul - Ocidental encontram-se espécies cujos frutos encerram quantidade apreciável de óleo com valor econômico para diferentes aplicações industriais (CAVALCANTE, 1991; PALLET, 2002; ARAUJO et al., 2002), como a produção de biocombustível.

As espécies que ocorrem naturalmente na região Amazônica diferem muito entre si, seja pela forma, seja pela qualidade e teor do óleo que produzem, o que as caracterizam como importante matéria-prima para obtenção de óleo, que pode ser

extraído do endosperma das sementes oleaginosas ou do pericarpo de frutas ricas em óleo (OZDEMIR & TOPUZ, 2004; TANGO et al., 2004).

Em estudos sobre a região amazônica, HAYNES & McLAUGHLIN (2000), relataram que as palmeiras representam a terceira família de plantas mais importantes dessa região quanto ao uso humano, pois são obtidos numerosos produtos alimentares, como frutos, nozes e óleos.

As espécies de palmeiras amazônicas silvestres ricas em óleo, apresentam vantagens sobre outras fontes naturais de substâncias gordurosas, por serem abundantes, renováveis, e praticamente inesgotáveis desde que processadas racionalmente, além de terem cultivo e produção não poluente, não esgotando o solo (MORÓN-VILLARREYES, 1998).

Os estudos iniciais de caracterização do óleo para a produção de biodiesel serão realizados com uma espécie da família *Arecaceae* (*Astrocaryum aculearum*), típica da Floresta Amazônica Sul-Occidental, cujo nome popular é tucumã (Figura 1).



FIGURA 1 - Cachos de Tucumã (*Astrocaryum aculearum*) com frutos verdes

O tucumã é uma palmeira monocaule que produz sementes que servem para a obtenção de azeite comestível e sabão (FAO, 1987). Esta espécie tem ocorrência no Acre, Amazonas, Rondônia, Pará, Mato Grosso e Roraima (LORENZI et al., 2004), desde sistemas agroflorestais à planta daninhas invasoras de pastagens, permitindo assim sua exploração.

O tucumanzeiro é uma palmeira solitária, monóica, estirpe ereta de 10-25 m de altura com espinhos nos entrenós e monocaule medindo em média 25 cm de diâmetro. A espécie é encontrada esporadicamente em pequenas densidades no interior da floresta, mas com grande abundância em áreas desmatadas, com grande ocorrência espontânea, formando grandes e muitas vezes, densas manchas em roçados, pastagens, capoeiras e margens de estradas, sendo assim uma espécie excepcionalmente tolerante a solos pobres e degradados, onde pode chegar a uma densidade de 50 indivíduos/hectare (CAVALCANTE, 1996; MIRANDA et al., 2001; LORENZI et al., 2004). Os frutos são produzidos durante o ano todo, porém o pico da produção ocorre nos meses de junho a janeiro. Uma palmeira típica produz cerca de 50 kg de frutos/ano, mesmo em solos pobres. Em geral, as árvores produzem de 2 a 3 cachos/ano, mas podem produzir até mais de cinco. Cada cacho pesa entre 10 a 30 kg e contém de 200 a 400 frutos. Os frutos são drupas globosas ou ovóides com medidas (volume e peso) bastante variadas (PESCE, 1941; CAVALCANTE, 1996; MIRANDA et al., 2001). O epicarpo (casca do fruto, 17,2% do peso do fruto fresco maduro) é verde-amarelado. O mesocarpo (polpa, 21,2% do peso do fruto fresco maduro) é amarelo-alaranjado, compacto, firme, com grande concentração de óleo e β -caroteno e com sabor agradável. O endocarpo (caroço) é pétreo, contendo no interior uma amêndoa (endosperma) (VERAS et al., 2005).

É comum crescer em solos com baixa fertilidade da terra firme, onde produz por muitos anos sem a aplicação de adubo (FAO, 1987). Com isso, é uma das poucas espécies arbóreas que os pequenos produtores, sem meios financeiros podem cultivar em terrenos que abandonaram depois de cultivar a mandioca durante um a três anos.

Tendo em vista isso, o *Astrocaryum aculeatum* Meyer (tucumã) é uma palmeira que ocorre no ecossistema de terra firme da Amazônia central e sul-ocidental e está

freqüentemente associada a ambientes degradados, como de invasoras de pastagens e de vegetação secundária (capoeiras), raramente em florestas primárias (FAO, 1987). Sua importância econômica baseia-se principalmente na exploração da polpa dos frutos, que pode ser consumida ao natural ou na forma de sorvete, suco, licor e doce. Da polpa dos frutos e das sementes podem ser extraídos diferentes tipos de óleos comestíveis, além de poderem ser utilizadas na suplementação alimentar humana e na fabricação de ração animal (MENDONÇA, 1996).

O tucumã é uma das várias espécies oleaginosas amazônicas que satisfazem os critérios fundamentais para o uso adequado e sustentável de espécies oleaginosas nativas na produção de biodiesel na Amazônia (FIGLIUOLO et al., 2007).

A extração do óleo contido nas diferentes partes do fruto pode ser feita por prensa hidráulica por batelada, prensa mecânica contínua e extração por solventes, porém a extração mecânica é tida como mais eficiente, de simples operação e baixo custo (WEISS, 1983). Nesse processo, algumas variáveis são importantes: cozimento e aquecimento dos grãos antes da prensagem, temperatura, tempo e teor de umidade das matérias primas (SINGH & BARGALE, 2000).

A extração do óleo contido nas diferentes partes do fruto pode ser feita por prensa hidráulica por batelada, prensa mecânica contínua ou por solventes (WEISS, 1983). A prensa mecânica é indicada para materiais com alto teor de óleo (>35%), podendo ser prensa hidráulica ou prensa tipo Expeller, com capacidade de extrair mais de 300 toneladas de óleo por dia, enquanto o solvente é indicado para materiais com baixo teor de óleo (<25%) (PARENTE, 2006).

PESCE (1941), estudando palmeiras da Amazônia, obteve nos frutos de tucumã, os seguintes valores de lipídeos na amêndoa e na polpa 20,9% e 33%, respectivamente. No entanto, PANTOJA et al. (2006), estudando frutos de tucumã para obtenção de óleo e síntese de biodiesel obtiveram teores de lipídeos totais na amêndoa e na polpa 16,1% e 6,4%, respectivamente, valores esses ocorridos devidos à realização das análises com frutos verdes.

FIGLIUOLO et al. (2004, 2007), estudando o potencial das amêndoas de tucumã para a produção de biodiesel, obtiveram valores de lipídeos totais variando de 40 a

50%, sendo que sua proporção no fruto foi de 36,9%, valor próximo ao obtido por NASCIMENTO et al. (2007), de 39,7% e CASTRO et al. (2006), estudando o potencial dos óleos, de algumas espécies de palmeiras da Amazônia, para produção de biodiesel, obteve 36% de óleo na amêndoa de tucumã, conseguindo dessa forma a extração do óleo das amêndoas por prensagem mecânica.

O estado de conservação do óleo está intimamente relacionado à natureza, qualidade da matéria-prima, grau de pureza do óleo e com as condições de armazenamento, pois a decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e luz, enquanto a rancidez é quase sempre acompanhada da formação de ácido graxo livre (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004)

A reologia é definida como a ciência que estuda o modo pelo qual a matéria se deforma ou escoia, quando submetida a forças externas (MACHADO, 1996). Conforme TOLEDO (1991) é a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação.

De acordo com ROVERI (1995), a viscosidade pode ser definida como o atrito interno ocasionado quando uma camada de fluido se move contra outra camada do fluido, considerada resistência ao escoamento.

Segundo MORETTO & FETT (1998) a viscosidade aumenta com o comprimento das cadeias dos ácidos graxos dos triglicerídeos e diminui quando com o aumento do número de insaturações, assim a viscosidade dos óleos é relativamente alta, superior à da água, devido às atrações intermoleculares existentes nas grandes cadeias dos ácidos graxos, que constituem os triglicerídeos.

O conhecimento do comportamento reológico dos produtos é essencial para várias aplicações, entre as quais o controle de qualidade dos óleos e do biodiesel. Os altos valores de viscosidade podem prejudicar o mecanismo de atomização do combustível e o funcionamento do sistema de injeção (COSTA NETO et al., 2000; KNOTH & STEIDLEY, 2005; MAIA, 2006).

Nem todos os óleos vegetais são próprios para serem utilizados na produção de biodiesel uma vez que podem apresentar uma viscosidade elevada ou grande números

de ligações insaturadas na cadeia carbônica dos ácidos graxos que constituirão o biodiesel (KNOTHE, 2005).

Os óleos vegetais são constituídos por misturas de ésteres derivados do glicerol, cujos ácidos graxos contêm cadeias que variam de 8 a 24 átomos de carbono com diferentes graus de insaturação. Conforme a espécie de oleaginosa, variações na composição química do óleo vegetal são espessas por variações na relação molar entre os diferentes ácidos graxos presentes na estrutura. Nesse contexto, a análise da composição de ácidos graxos constitui o primeiro procedimento para a avaliação preliminar da qualidade do óleo bruto e/ou de seus produtos de transformação e isto pode ser obtido através de vários métodos analíticos como a cromatografia em fase gasosa (MORETTO & FETT, 1998).

Segundo ANGELUCCI et al. (1987), o alto teor de acidez de um óleo bruto diminui seu poder de neutralização, sendo também um indicador de sementes de baixas qualidades, de manuseio e armazenamento impróprios ou de um processamento insatisfatório.

A acidez livre de uma gordura decorre da hidrólise parcial dos glicerídeos, cujo valor é variável, sendo este valor está intimamente relacionado com a natureza, qualidade da matéria-prima, processamento e condições de conservação do óleo (MORETTO & FETT, 1998).

FERREIRA et al. (2005 e 2008) e URAKAWA et al. (2008), estudando as características físico-químicas de óleos extraídos de polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), obtiveram valores de índice de acidez de 5,58 e 8,8 mg KOH g⁻¹ de amostra, respectivamente.

Durante a transesterificação de um óleo bruto, o alto índice de ácidos graxos livres (AGL) atrapalha a purificação dos ésteres, com a formação de sabão (ZAGONEL, 2005).

Quanto maior o grau de insaturação de um ácido graxo, maior será sua capacidade de adicionar iodo e, conseqüentemente, maior será o índice de iodo (MORETTO & FETT, 1998), característica importante para a classificação e aplicação de diferentes tipos de óleos (CECCHI, 2003).

Conforme CECCHI (2003), o índice de peróxido é um dos métodos mais utilizados para medir o estado de oxidação de óleos, gorduras. Sendo que a degradação oxidativa e a estabilidade à oxidação do óleo ou do biodiesel pode ser avaliado com o aumento do índice de peróxido (FERRARI, 2005).

A reação de saponificação é um indicador do grau de deteriorização e da estabilidade dos óleos. O índice de saponificação permite verificar se as propriedades do óleo estão de acordo com as especificações e identificar possíveis fraudes e adulterações (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

FERREIRA et al. (2005) e FERREIRA et al. (2008) , estudando característica físico-químicas de óleos de polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*) obtiveram como resultados para índice de saponificação 316,56 mg KOK g⁻¹ e 202,71 mg KOK g⁻¹, respectivamente.

O resultado obtido por FERREIRA et al. (2008), estudando ácidos graxos do óleo extraído da polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), apresentou 29% de ácidos graxos saturados, 68% de monoinsaturados, e apenas 1% de poliinsaturado. O ácido oléico mostrou ser majoritário com 67,6%, sendo ácido palmítico o principal representante dos ácidos saturados, com 22,9% da composição total. MAMBRIM & BARRERA-ARELLANO (1997), BROCHIER (2000) e CHRISTENSEN et al. (2000), demonstraram que a composição em ácidos graxos insaturados no óleo de tucumã pode representar até 77%, sendo 62 a 68,4% de ácido monoinsaturado oléico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Locais de colheita dos frutos

A colheita dos frutos de tucumã foi realizada em uma população de plantas nativas na região Amazônica Sul - Ocidental. Os locais onde se realizaram as colheitas das amostras foram selecionados pela presença de um número mínimo de dez plantas na população e a presença de frutos em pelo menos três delas. Essas populações encontravam-se ao longo das BR-364 e BR-317 a uma distância de até 100 metros à direita ou à esquerda das rodovias e a uma distância de até 150 km da cidade de Rio Branco, AC.

O georreferenciamento dos locais foi realizado na parte central de cada população amostrada por meio de um receptor *Global Position System* (GPS) Garmim Etrex (Receptor GPS de alta sensibilidade para um desempenho e recepção de dados; compatível com WAAS para uma melhor recepção de satélites; com capacidade para armazenar 500 pontos com símbolos; registro de trajeto automático, com possibilidade para armazenar 10 percursos e 20 trajetos gravados com 125 pontos cada). As coordenadas dos pontos centrais dos locais amostrados foram medidas em Sistema de Projeção de Coordenadas Geográficas, datum SAD69 (South America, 1969), sendo apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 - Pontos centrais dos locais de amostragem georreferenciados.

Pontos	Latitude	Longitude
1	S 10° 00' 46,0"	WO 67° 42' 49,3"
2	S 10° 01' 31,1"	WO 67° 38' 40,5"
3	S 10° 03' 31,7"	WO 67° 19' 24,5"
4	S 10° 02' 26,6"	WO 67° 15' 53,9"
5	S 09° 59' 40,6"	WO 67° 11' 09,2"
6	S 09° 58' 05,9"	WO 67° 07' 26,0"
7	S 09° 56' 46,6"	WO 67° 03' 28,0"
8	S 09° 52' 01,1"	WO 66° 54' 51,7"
9	S 09° 54' 14,6"	WO 66° 56' 48,6"
10	S 10° 16' 51,0"	WO 67° 41' 54,6"
11	S 10° 18' 33,9"	WO 67° 41' 31,3"
12	S 10° 21' 47,9"	WO 67° 41' 37,5"
13	S 10° 28' 21,6"	WO 67° 40' 58,4"
14	S 10° 35' 08,4"	WO 67° 41' 57,6"
15	S 10° 35' 42,9"	WO 67° 42' 41,4"
16	S 10° 36' 05,2"	WO 67° 43' 25,0"
17	S 10° 36' 11,0"	WO 67° 45' 44,6"
18	S 10° 36' 10,7"	WO 67° 47' 12,9"
19	S 10° 36' 23,9"	WO 67° 47' 53,5"
20	S 10° 36' 29,8"	WO 67° 48' 41,4"
21	S 10° 35' 06,2"	WO 67° 52' 07,6"
22	S 10° 35' 44,5"	WO 67° 57' 14,3"

Os pontos de 1 a 9 correspondem aos locais amostrados ao longo da BR-364, no sentido Rio Branco/AC até divisa do Estado de Rondônia, na cidade de Acrelândia/AC. Os pontos de 10 a 22 correspondem aos locais amostrados ao longo da BR-317, no sentido Rio Branco/AC à Bolívia, contudo os locais amostrados foram até a cidade de Xapurí/AC. A BR-317 apresentou maior ocorrência de plantas de tucumã e com isso, maior incidência de pontos.

O georreferenciamento desses pontos facilitou a localização dos pontos amostrados e além disso, permitirá uma possível localização desses ao longo de vários anos sucessivos.

A Figura 2 ilustra a imagem de satélite, fornecida pelo Google Earth, dos locais amostrados ao longo das rodovias BR-317 e BR-364.



FIGURA 2 - Pontos centrais dos locais amostrados no Acre, ao longo das BR-364 e BR-317, imagem adaptada do Google Earth.

3.2. Plantas selecionadas para coleta dos frutos

Os frutos de tucumã são produzidos durante o ano todo, porém o pico da produção ocorre nos meses de junho a janeiro. No mês de julho foi feita a seleção das áreas onde os frutos seriam colhidos, ocasião em que os mesmos estavam ainda verdes. Na oportunidade foram coletadas amostras de solo e a respectiva posição para o processo de georreferenciamento das áreas em estudo. O amadurecimento dos frutos no cacho e dos cachos na planta não ocorre de forma uniforme, de tal forma que a colheita dos frutos foi realizada no período que foi do final do mês de outubro ao

começo do mês de dezembro. A colheita era realizada quando metade dos frutos de pelo menos um dos cachos estivessem maduros.

3.3. Colheita e preparo dos frutos

Em cada local amostrado foram colhidos todos os cachos de tucumã de três palmeiras selecionadas aleatoriamente em uma população de indivíduos adultos, crescendo espontaneamente em área de pastagem. Todos os frutos foram retirados dos cachos para contagem e determinação da massa por meio de uma balança tipo mola com capacidade para 50 kg x 500 g. Foram então selecionados, ao acaso, trinta frutos em estágio de amadurecimento e trinta frutos totalmente maduros de cada palmeira, que foram encaminhados à Unidade de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Acre (UTAL/UFAC) em Rio Branco, AC.

As amostras que continham os frutos totalmente maduros foram imediatamente processadas, enquanto aquelas contendo frutos não maduros foram acondicionadas em cestos plásticos, com circulação de ar, permanecendo em temperatura ambiente (33-38 °C) e à sombra até atingirem o amadurecimento completo (Figura 3).



FIGURA 3 - Frutos em estágio diferente de amadurecimento (A e B); frutos totalmente maduros (C).

Nos trinta frutos de cada amostra, após a determinação da massa, foram despulpados manualmente com o auxílio de uma faca e separados em: polpa (epicarpo + mesocarpo), castanha ou caroço (endocarpo) e amêndoas (semente retirada do interior do endocarpo), cujas massas foram determinadas (Figura 4A e 4B).

As amêndoas foram separadas dos caroços com auxílio de uma morça manual. Os caroços foram descartados e as amêndoas, colocadas em estufa com circulação forçada de ar e mantida a 65 °C e até obtenção de massa constante. Nas amêndoas secas foi determinada a massa, usada para obtenção da umidade, e as mesmas foram então moídas em moinho de faca, com peneira de malha 2 mm, e usadas para determinação do teor de lipídio total através da extração por solvente.

Metade das amostras de polpa madura foi processada conforme metodologia descrita para amêndoas, enquanto a outra metade foi submetida à extração por prensagem contínua, após pré-tratamento térmico, para obtenção de óleo para avaliação do potencial para produção de biodiesel.

3.4. Extração do óleo para produção do biodiesel

A prensa contínua utilizada foi uma Mini Prensa ERCITEC Modelo MPE-40 com adaptação para MTD 5 cv, que consiste basicamente de um equipamento em aço carbono, formado por moéga de alimentação construída em chapa de aço carbono. Cárter alimentador construído em aço carbono fundido. Cesto de compressão contendo 12 discos em aço carbono com tratamento térmico e retificados, cone de saída em aço carbono com tratamento térmico, suportados por três tirantes em aço carbono. Eixo helicoidal com passo e diâmetro variável construído em aço carbono com tratamento térmico retificado, apoiado em mancal com rolamentos e bucha de bronze. A posição do eixo helicoidal dentro do cesto de compressão é alterada de acordo com a necessidade operacional por meio de parafuso e fixada por contra porca. Sistema de

acionamento formado por moto redutor de engrenagens helicoidais. Equipamento fornecido completo com estrutura de sustentação construída em tubos industriais de aço carbono, chapas de fechamento lateral e bica recolhadora de óleo e finos construídas em aço carbono (Figura 4D). A prensa continua pode ser fornecida para operar com matéria prima à temperatura ambiente (extração a frio) ou considerando um pré tratamento térmico (pré cozimento), com capacidade de processamento de 40 kg/h de matéria prima.

O pré tratamento térmico das amostras de polpa consistiu em colocá-las em uma estufa a 38 °C por 48 horas para que atingissem valor de umidade entre 5 a 8%, seguindo-se aquecimento em banho-maria, até atingir temperatura de 70 °C. A amostra assim aquecida foi colocada no alimentador mecânico (rosca dosadora) da prensa de forma contínua e constante, fator importante no rendimento do processo. Os produtos da prensagem foram o óleo bruto e a torta.

As amostras de óleo bruto foram armazenadas em frascos de vidro, mantidos em local fechado, na ausência de luz, para serem submetidas às análises físico-químicas, que foram realizadas no laboratório do Núcleo de Desenvolvimento de Métodos de Análise de Combustíveis (NDCOM) no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Araraquara, SP.



FIGURA 4 - Ilustração das etapas da metodologia: A) Pesagem dos trinta frutos; B) Despoldagem: a- frutos inteiros, b- polpa, c- castanha ou caroço; C) Secagem da polpa em estufa de ventilação forçada; D) Mini Prensa ERCITEC Modelo MPE-40 com adaptação para MTD 5 cv.

3.5. Determinação dos teores de lipídios totais e rendimento

A determinação do teor de lipídeo total nas amostras de amêndoa, polpa e torta foi realizada com a extração por meio do solvente hexano, de acordo com as normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985). As amostras foram previamente trituradas para facilitar a penetração do solvente, garantindo melhor extração do óleo. Em seguida, amostra com cerca de 5 g, previamente seca a 65 °C, foi acondicionada em cartucho de

celulose, que foi coberto com algodão desengordurado e colocado em um extrator tipo Soxhlet, ao qual se adicionou hexano de modo a cobrir o cartucho por 2 vezes seu volume. O balão do extrator foi previamente aquecido por 1 hora em estufa a 105 °C, colocado em dessecador até atingir temperatura ambiente e sua massa determinada, após atingir temperatura ambiente. Após um período de 6 horas de extração, o balão com a solução óleo-hexano foi colocado em estufa mantida a 105 °C até obtenção de massa constante.

3.6. Amostragem e análise de solo

A amostragem de solo foi realizada em cada área de coleta de frutos, retirando-se 20 amostras simples para formar uma amostra composta, essas amostras foram coletadas com auxílio de um trado holandês na profundidade 0-0,2 m, conforme descrito por VAN RAIJ et al. (1997).

Foi realizada a análise química completa do solo segundo descrito por FERREIRA et al., (1990), que consiste em se determinar a matéria orgânica do solo; seu grau de acidez (pH) e acidez potencial medida pela quantidade de íons H e Al que o solo pode liberar no meio; em se extrair e quantificar o fósforo disponível e o potássio; o cálcio e magnésio trocáveis; e o cálculo da soma de bases (SB) , capacidade de troca de cátions (CTC) e o índice de saturação por bases (V%); e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

Os dados da análise do solos que foram utilizados na análise multivariada estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Análise química de solo coletados dos diferentes locais amostrados.

Locais	pH CaCl ₂	P mg dm ⁻³	H+ALmmolc dm ⁻³	Al	T	V %
1	3,9	9	88	17,0	106,6	17
2	5,5	12	28	0,0	103,7	73
3	3,8	9	64	11,0	75,4	15
4	3,8	7	150	52,0	160,9	7
5	4,0	7	52	6,0	62,7	17
6	4,5	6	47	4,0	73,4	36
7	4,5	7	47	3,0	75,2	38
8	3,9	9	109	20,0	128,0	15
9	4,4	9	72	11,0	108,4	34
10	4,0	7	64	8,0	84,3	24
11	4,1	7	52	5,0	68,0	24
12	3,9	8	72	8,0	90,5	20
13	4,2	15	58	5,0	81,7	29
14	4,5	8	52	3,0	80,1	35
15	4,2	6	47	2,0	67,3	30
16	4,0	5	38	6,0	49,0	22
17	4,0	5	42	5,0	57,1	26
18	4,0	6	47	11,0	55,1	15
19	4,0	7	58	10,0	68,7	16
20	4,7	5	34	2,0	61,0	44
21	4,6	7	38	3,0	64,6	41
22	4,6	6	38	2,0	64,0	41

3.7. Análises físicas do óleo da polpa de tucumã

3.7.1. Densidade

A determinação da densidade foi realizada com o uso de um picnômetro. Foram determinadas as massas do picnômetro vazio, cheio com água destilada e cheio com a amostra de óleo extraída. A densidade relativa da amostra de óleo foi obtida pela relação entre a massa da amostra de óleo e do mesmo volume de água destilada.

3.7.2. Viscosidade

Na determinação da viscosidade foi utilizado um reômetro da marca Brookfield, modelo DV-III, e um cilindro de diâmetro externo de 100 mm (Spindle de referência S-18).

3.8. Análises químicas do óleo da polpa de tucumã

3.8.1. Índice de Acidez

O índice de acidez foi determinado por meio da utilização de uma solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ como agente titulante e fenoftaleína como indicador (AOAC, 1997).

3.8.2. Índice de Iodo

A determinação do índice de iodo foi feita pelo método de Hanus, que consiste em uma titulação utilizando como titulante uma solução de iodo e brometo (AOAC, 1997).

3.8.3. Índice de Peróxido

Para determinação do índice de peróxido, foi empregado o método titulométrico, tendo como solução titulante uma solução de tiosulfato de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (AOAC, 1997).

3.8.4. Índice de Saponificação

Na determinação do índice de saponificação foi usado o método titulométrico, utilizando a fenoftaleína como indicador e solução de ácido clorídrico $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ como titulante (AOAC, 1997).

3.9. Análises Cromatográficas do óleo da polpa de tucumã

Os ácidos graxos foram determinados como ácidos graxos dos ésteres metílicos por cromatografia gasosa com detector de massas. Os ésteres metílicos foram preparados pelo método descrito no INTERNATIONAL OLIVE OIL COUNCIL (2001).

A separação dos ésteres dos ácidos graxos foi feita em um cromatógrafo a gás Varian 3800 com uma coluna capilar da Supelco SPB-5 (60 m comprimento x 0,25 mm diâmetro interno x 0,2 μm filme) e injetor automático Varian 8200. A temperatura da coluna foi programada para 165 °C durante 10 min e então aumentada para 200 °C em 2 °C por min com um período de isoterma final de 13 min. Hélio foi usado como gás de arraste com fluxo constante de $1,2 \text{ mL min}^{-1}$. A temperatura do injetor foi fixada em 245 °C, com uma razão de 1:50. Foi utilizado o modo de ionização positivo com energia de 70 eV em full scan e intervalo de aquisição de massas de 35 a 650 daltons.

3.10. Cálculos e análise dos resultados

O rendimento aparente da prensa foi calculado com base na quantidade máxima de óleo extraído, sendo a diferença entre a quantidade total de lipídeos extraídos por

hexano da polpa e a quantidade de lípideos extraídos por hexano da torta retida depois da prensagem contínua.

A determinação da produção de óleo por planta foi calculado baseando se a quantidade de lipídio total presente na amêndoa e na polpa multiplicado pela porcentagem dessas no fruto multiplicado pela massa desses por planta.

Os resultados obtidos para lípideos totais da amêndoa e da polpa e rendimento aparente da prensa foram submetidos à análise da variância para detectar efeito de local e dentro de local de amostragem, sendo aplicando o teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade para comparação de médias, quando o teste F foi significativo nos níveis de probabilidade de 5 e 1% (PIMENTAL GOMES & GARCIA, 2002).

A análise dos resultados cromatográficos foi feita usando o software Star Workstation chromatography (versão 4.51) e a identificação dos ésteres dos ácidos graxos foi feita por meio da comparação dos espectros de massa obtidos com aqueles contidos no banco de dados do equipamento, NIST 98, sendo considerados apenas aqueles que possuíam um índice de similaridade maior ou igual a 95 %. Erros relativos foram menores do que 1% em todos os níveis de concentração.

A estrutura multivariada contida nos dados foi explorada utilizando análise de componentes principais considerando como variáveis as características de solo: potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions (T), saturação de bases (V), concentração de Alumínio (Al) e físicas do fruto: quantidade de amêndoas no fruto (Am_fruto), teor de lípideos na amêndoa (Lip_Am), quantidade de polpa no fruto (Pol_fruto), teor de lípideos na polpa (Lip_pol) produtividade de óleo por planta (*Prod).

A matriz contendo todos os dados amostrais foi padronizada, para cada j fixo, pela Equação 1.

A análise de componentes principais é uma técnica que cria variáveis latentes ortogonais, com centro na região de maior concentração da variabilidade. Para isso, foi utilizada a matriz de covariância dos dados, da qual foram extraídos os autovalores que originam os autovetores (componentes principais), que são combinações lineares das variáveis originais. A dispersão das unidades experimentais passa a ser representada

pelos autovetores construídos com os maiores autovalores, pois preservam maior quantidade da informação original. Segundo o critério de KAISER (1958), foram considerados os autovalores acima de 1, pois geram componentes com quantidade relevante de informação contida nas variáveis originais.

Foi avaliado o poder discriminatório de cada variável pela Equação 2.

A percentagem da variância total contida em cada componente CP_h foi obtida segundo a Equação 3.

As análises foram processadas no software Statistica, versão 7.0.

Equação 1:

$$Z_{kj} = \frac{X_{kj} - \bar{X}_j}{S_j}$$

em que:

k é a amostra;

j é a característica;

\bar{X}_j é a média;

S_j é o desvio padrão da coluna j.

Equação 2:

$$r_{x_j}(CP_h) = a_{jh} \frac{\sqrt{\lambda_j}}{S_j}$$

em que:

$r_{x_j}(CP_h)$ é a correlação entre a variável x_j e o componente principal CP_h ;

a_{jh} é o coeficiente da variável j no h -ésimo componente principal;

λ_h é o h -ésimo autovalor da matriz de covariância.

Equação 3:

$$CP_h = \frac{\lambda_h}{T(C)} 100$$

em que:

$T(C)$ é o traço da matriz de covariância ($\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_h$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teores de lipídios totais presente na amêndoa e na polpa de tucumã e o rendimento aparente de extração do óleo por uma prensa contínua

Os resultados obtidos para porcentagem, umidade e lipídeos totais em amêndoa de frutos de tucumã encontram apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - Porcentagem de amêndoas nos frutos, teores de água e lipídeos totais.

Locais	Amêndoa		
	No fruto	Umidade %.....	Lipídeos
1	23,6	38,0	21,6 BC
2	20,6	39,1	22,4 AB
3	23,1	39,1	22,2 AB
4	23,6	39,3	22,3 AB
5	24,5	43,3	22,1 AB
6	22,8	39,6	22,6 AB
7	23,9	39,7	22,4 AB
8	23,7	40,6	21,0 C
9	23,9	39,7	22,8 A
10	23,9	40,9	21,8 ABC
11	23,8	40,0	21,9 ABC
12	26,8	40,8	22,2 AB
13	24,0	40,9	22,1 AB
14	25,6	40,7	22,1 AB
15	23,8	41,0	22,0 ABC
16	24,3	41,2	22,4 AB
17	27,1	41,0	21,6 BC
18	25,7	45,0	22,1 AB
19	26,2	40,2	22,1 AB
20	24,8	40,8	22,2 AB
21	23,6	40,8	22,4 AB
22	22,1	39,8	22,1 AB
CV (%)	-	-	1,14

Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si, pelo teste Tukey (P<0,05).

Os teores de lipídeos totais das amostras de amêndoa foram afetados pelo local de amostragem (Tabela 3), sendo que a área nove apresentou o maior valor (22,8%), e a área oito, o menor (21%). Os valores de lipídeos totais e porcentagem de amêndoas no fruto de tucumã obtidos no presente experimento se aproximam ao obtido por PESCE (1941), pioneiros no estudo de palmeiras da Amazônia, 20,9% e 21,9%, respectivamente.

Os valores de umidade e lipídeos na amêndoa desse trabalho são muito discrepantes em relação aos dados obtidos por FIGLIUOLO et al. (2004, 2007), 37% de umidade e 40 a 50% de lipídeos, NASCIMENTO et al. (2007) e PANTOJA et al. (2006), os últimos estudando frutos de tucumã para obtenção de óleo e síntese de biodiesel, obtiveram teores de umidade e de lipídeos totais de 34,1% e 16,1%, respectivamente e concluíram que os baixos teores de lipídeos encontrados na amêndoa de tucumã eram devidos ao fato de que os frutos ainda não haviam alcançado o estágio de maturação completa.

Ao analisar os resultados contidos na Tabela 3, observa-se que o valor médio de lipídeos totais na amêndoa foi de 22,1%, valor esse diferente do obtido por CASTRO et al. (2006), que estudando o potencial dos óleos de algumas espécies de palmeiras da Amazônia, para produção de biodiesel, obtiveram 36% de óleo na amêndoa de tucumã, conseguindo, dessa forma, a extração do óleo das amêndoas por prensagem mecânica, uma vez que, o processo de extração de óleo por prensagem mecânica é indicado para materiais com teor de óleo maior que 25% (PARENTE, 2006). Para materiais com baixo teor de óleo (<25%), é indicada a extração química por solvente.

Pelo fato de a retirada da amêndoa da castanha tratar-se de um processo oneroso e que a quantidade de óleo obtido das amêndoas não viabilizar a extração por prensagem mecânica, devido aos baixos rendimentos, para as amostras de amêndoa analisadas neste trabalho foi utilizado a extração por meio de solventes.

Os resultados obtidos para quantidade no fruto, umidade e lipídeos totais em polpa de frutos de tucumã, assim como o rendimento da prensa na extração do óleo da polpa encontram apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - Porcentagem de polpa nos frutos, teores de água e lípideos totais.

Locais	Polpa			
	No fruto	Umidade	Lípideo	RA*
%.....			
1	59,0	43,5	33,5 A	73,0 A
2	44,8	43,4	33,6 A	73,0 A
3	43,6	43,9	30,9 B	72,0 AB
4	46,6	44,0	30,9 B	72,0 AB
5	39,2	46,9	31,5 B	71,0 AB
6	42,2	46,5	31,0 B	72,0 AB
7	46,5	46,2	31,3 B	71,0 AB
8	46,5	47,1	31,4 B	71,0 AB
9	46,6	47,2	31,4 B	71,0 AB
10	46,5	47,4	31,3 B	70,0 B
11	43,5	47,3	30,9 B	70,0 B
12	46,5	46,2	31,5 B	70,0 B
13	46,4	47,1	31,0 B	70,0 B
14	44,9	45,0	35,0 A	72,0 AB
15	46,5	46,2	31,5 B	70,0 B
16	46,4	46,2	31,5 B	70,0 B
17	44,7	46,1	34,3 A	71,0 AB
18	50,8	45,1	34,9 A	72,0 AB
19	47,4	43,8	31,3 B	71,0 AB
20	38,6	45,0	30,6 B	71,0 AB
21	47,4	44,2	31,1 B	71,0 AB
22	55,7	43,8	31,3 B	71,0 AB
CV (%)	-	-	1,11	0,86

*RA = rendimento aparente da prensa.

Médias seguidas de letras diferentes, na mesma linha, diferem entre si, pelo teste Tukey(P<0,05).

O teor de lípideos na polpa de tucumã também foi afetado pelo local de amostragem, sendo que os pontos 1, 2, 14, 17 e 18 apresentaram teores mais elevados que 33%, não diferindo entre si, mas diferindo das demais áreas (Tabela 4). Esses valores estão próximos aos obtidos por PESCE (1941), que obteve 33% de lípideos totais na polpa de frutos de tucumã, mas são muito diferentes dos obtido por PANTOJA et al. (2006), que utilizaram solvente para extração de óleo de polpa de tucumã, e obtiveram para valores de umidade e lípideos totais 72,6% e 6,4%, respectivamente, e concluíram que os valores eram devidos à realização das análises com frutos verdes.

O teor médio de água obtido nesse presente estudo foi superior aos encontrados por PESCE (1941) e FIGLIUOLO et al. (2004, 2007), 39,2% e 38,4%, respectivamente.

Quanto a quantidade de polpa no fruto, os valores encontrados nesse trabalho ficaram muito próximos aos encontrados por FERREIRA et al. (2005), que estudando *Astrocaryum vulgare*, obtiveram 54,4% de polpa no fruto e NASCIMENTO et al. (2007), que estudando parâmetros biométricos dos cachos, frutos e sementes da palmeira (*Astrocaryum aculeatum*) obtiveram 47% de polpa no fruto.

O rendimento aparente da prensa para extração do óleo da polpa de frutos de tucumã foi afetado pelo local de colheita (Tabela 4). O rendimento foi melhor para frutos colhidos nos pontos 1 e 2 (73%), diferindo dos pontos 10, 11, 12, 13, 15 e 16 (70%), apesar de a prensa utilizar o mesmo espaçamento entre os anéis. A diferença ocorrida no rendimento aparente da prensa pode ter ocorrido devido aos frutos das diferentes áreas não terem sido colhidos no mesmo estágio de maturação.

Os valores de rendimento obtidos no presente estudo se aproximaram aos de PIGHINELLI et al. (2008), que estudaram prensagem de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller, obtivendo rendimento para a extração do óleo bruto de 74%. No entanto, em estudos com prensagem de sementes de girassol, PIGHINELLI et al. (2009) obtiveram rendimento de 64% na extração do óleo bruto, abaixo dos obtidos dos neste trabalho. Em ambos os trabalhos, a matéria prima foi aquecida a 60 °C e apresentava teor de umidade de 10% e 8%, respectivamente.

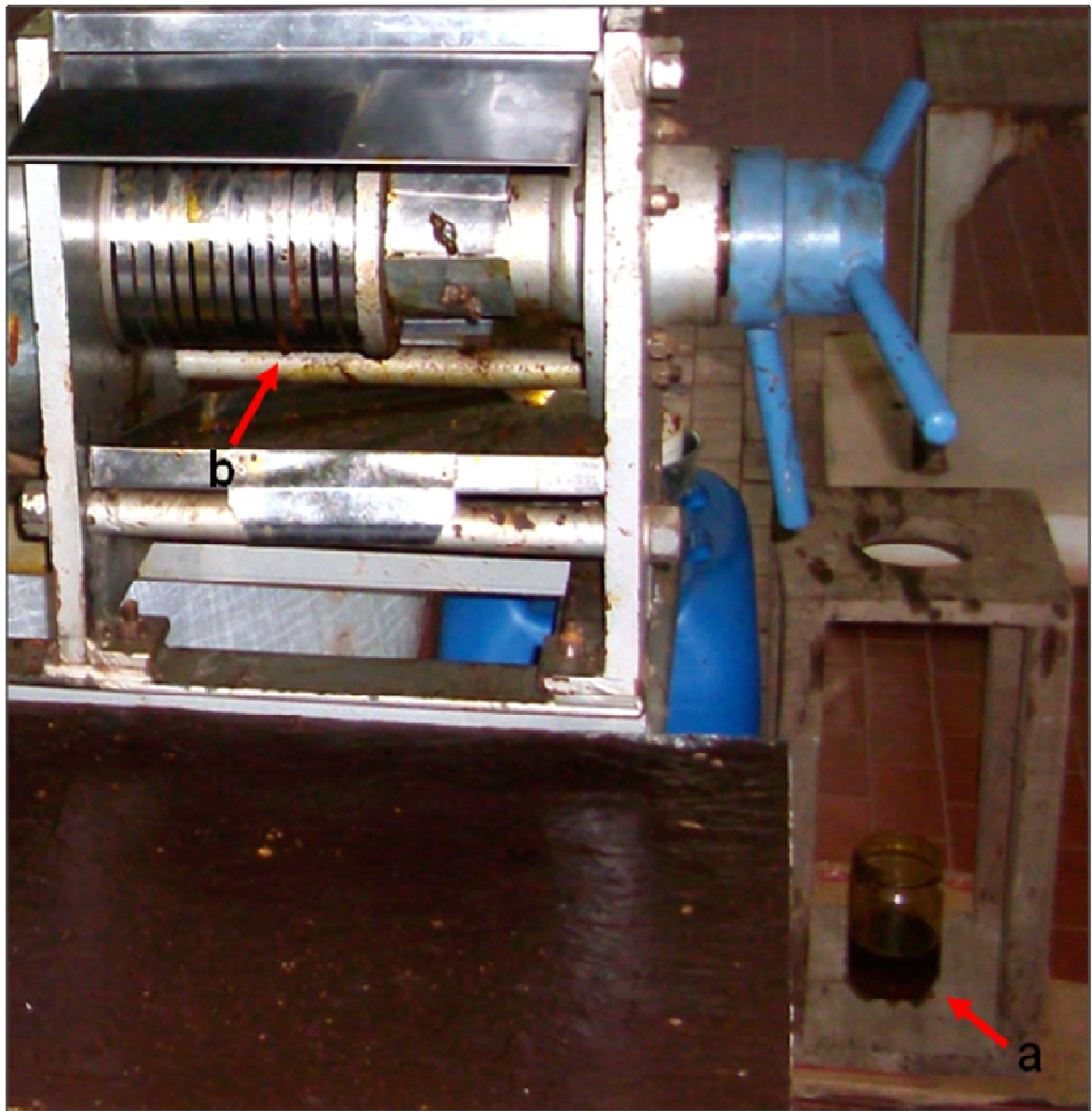


FIGURA 5 - Prensagem da polpa de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*): a) extração do óleo; b) amostra do óleo.

4.2. Características físico-químicas e cromatográficas de óleos extraídos da polpa de frutos de tucumã

Os valores de densidade (massa específica), viscosidade, índice de acidez, índice de iodo, índice de peróxido e índice de saponificação do óleo obtidos de amostras de óleo de polpa de tucumã estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - Característica físico-químicas do óleo da polpa de tucumã

Parâmetros	Frutos Maduros	Frutos Não Maduros	Média
Densidade (g cm ⁻³)	0,902 ± 0,002	0,908 ± 0,001	0,903 ± 0,003
Viscosidade (mm ² s ⁻¹)	77,1 ± 1,1	73,5 ± 0,5	76,3 ± 1,6
Índice de Acidez (mg KOH g ⁻¹)	6,35 ± 0,39	9,49 ± 0,01	7,11 ± 1,47
Índice de iodo (g I ₂ 10 ⁻² g ⁻¹)	114,62 ± 2,61	110,28 ± 2,93	113,84 ± 3,28
Índice de peróxido (meq kg ⁻¹)	30,31 ± 0,28	31,31 ± 0,11	30,79 ± 0,39
Índice de saponificação (mg KOH g ⁻¹)	210,41 ± 0,97	213,32 ± 0,69	211,38 ± 1,68

A densidade média do óleo obtido de frutos maduros e não maduros de tucumã foi de 0,902 ± 0,002 e 0,908 ± 0,001 g cm⁻³, respectivamente (Tabela 5). Esses valores estão muito próximos aos obtidos por FERREIRA et al. (2005 e 2008) e URAKAWA et al. (2008), que encontraram valores de 0,901 e 0,908 g cm⁻³, respectivamente.

O valor médio de viscosidade cinemática do óleo obtido de polpa de tucumã foi de 76,3 ± 1,6 mm² s⁻¹ (Tabela 5), na temperatura de 24,6°C, sendo que amostras de frutos colhidos antes de terem atingido estágio completo de maturação apresentaram valores menores. Para MORETTO & FETT (1998), a viscosidade aumenta com o comprimento das cadeias dos ácidos graxos dos triglicerídeos e diminui com o aumento da insaturação.

Os valores de índice de acidez obtidos no presente trabalhos ($6,35 \pm 0,39$ e $9,49 \pm 0,01$) são semelhantes aos resultados obtidos por FERREIRA et al. (2005 e 2008) e URAKAWA et al. (2008), que estudando as características físico-químicas de óleos extraídos de polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*), obtiveram valores de índice de acidez de 5,58 e 8,8 mg KOH g⁻¹ de amostra, respectivamente. O índice de acidez foi o dado que apresentou maior discrepância entre os óleos de frutos colhidos maduros e de frutos colhidos não totalmente maduros (Tabela 5), isso se deve pelo fato de os frutos colhidos não totalmente maduros permanecerem um maior período armazenado, ocasionando formação de possíveis compostos ácidos.

A alta acidez encontrada no óleo de tucumã, que de acordo com a ANP o valor máximo permitido seria 8 mg KOH g⁻¹, pode ser atribuída a fatores como a natureza e qualidade da matéria prima, o aumento da perda da neutralização, armazenamento impróprio e processamento insatisfatório, que é acompanhada da formação de ácidos graxos livres (ANVISA, 1999). A qualidade da matéria-prima utilizadas para extração do óleo e o período de armazenamento pode ter sido fator preponderante para o elevado índice de acidez encontrado, pois estes fatores podem ter contribuído para a oxidação do produto, ocasionando o possível aparecimento de produtos de natureza ácida (DAMBISKI, 2007).

Para a produção de biodiesel, uma acidez elevada do óleo é fator indesejável, pois o catalisador é consumido para neutralizar os ácidos graxos livres, em uma reação de saponificação, a qual compete com a reação de transesterificação, diminuindo o rendimento do processo de produção do biocombustível (DANTAS, 2006).

O índice de iodo do óleo da polpa de tucumã de frutos colhidos maduros e verdes variou na faixa $110,28 \pm 2,93$ - $114,62 \pm 2,61$ g I₂ 10⁻² g⁻¹ para frutos verdes e maduros, respectivamente (Tabela 4). Tais valores são mais elevados que os obtidos para outros óleos, como o de dendê, com valor na faixa 50–60 g I₂ 10⁻² g⁻¹ (ANVISA, 1999).

O valor do índice de iodo é importante, porque, serve para estimar o grau de insaturação do óleo. Esta propriedade influencia extremamente a oxidação do biocombustível e o tipo de produtos e depósitos do envelhecimento formados em

injetores dos motores. Sendo que os óleos a serem utilizados como biocombustíveis devem ter um valor de iodo abaixo de $115 \text{ I}_2 \cdot 10^{-2} \text{ g}^{-1}$ (PEREIRA, 2007).

O elevado índice de iodo é causado pela grande quantidade de ligações insaturadas presentes no óleo em função da ocorrência de ácidos graxos insaturados, que são facilmente oxidados, justificando o surgimento de uma acidez elevada, quando o óleo é manuseado de forma incorreta. Tal índice pode ser reduzido facilmente pela hidrogenação do óleo, uma vez que o hidrogênio quebra a ligação dupla e converte em um óleo saturado, reduzindo polimerização (CALAIS & CLARK, 2007).

O elevado valor de índice de iodo deve ter ocorrido em função de reações radicalares, capazes de autopropagação, e que dependem do tipo de ação catalítica (temperatura, íons metálicos, radicais livres, pH). No decurso da seqüência reacional, dividida em iniciação, propagação e terminação, é possível distinguir três etapas de evolução oxidativa: desaparecimento dos substratos de oxidação (oxigênio, lipídeo insaturado); aparecimento dos produtos primários de oxidação (peróxidos e hidroperóxidos), cuja estrutura depende da natureza dos ácidos graxos presentes; aparecimento dos produtos secundários de oxidação, obtidos por cisão e rearranjo dos peróxidos (epóxidos, compostos voláteis e não voláteis), cuja natureza e proporção dependem de diversos atributos (SILVA et al., 1999). Óleos com elevado índice de iodo também pode sofrer oxidação enzimática catalisada pela lipoxigenase. Esta enzima atua sobre os ácidos graxos poli-insaturados (ácidos linoléico, linolênico e seus ésteres), catalisando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada poli-insaturada. O resultado é a formação de peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas, os quais podem envolver-se em diferentes reações degradativas, semelhantes aos processos de auto-oxidação, originando diversos produtos (SILVA et al., 1999).

O índice de peróxidos do óleo da polpa de tucumã ficou situado nas proximidades de 30 meq kg^{-1} (Tabela 5) para os dois tipos de frutos avaliados, valores muito acima dos 3 meq kg^{-1} encontrados por FERREIRA et al. (2005 e 2008). Segundo MALACRIDA (2003), o índice de peróxidos não deve ultrapassar 10 meq kg^{-1} de amostra, pois valores baixos desse indicam uma baixa possibilidade de deterioração oxidativa. O óleo de polpa de tucumã resultou num elevado índice de peróxido por ter

favorecido o desenvolvimento da rancidez oxidativa devido a presença de ácidos graxos insaturados, que são facilmente oxidados em virtude das duplas ligações.

Um dos processos a que estão sujeitos os biodiesel produzidos a partir de óleos vegetais com degradação oxidativa, também conhecidos como rancificação oxidativa, são as corrosões abióticas e biocorrosões (LUTTERBACH et al., 2006), sendo que as implicações negativas deste processo podemos destacar o aumento da viscosidade e a elevação da acidez, capaz de gerar processos corrosivos abióticos e a formação de gomas e compostos poliméricos indesejáveis (FERRARI, 2005).

Os resultados obtidos para índice de saponificação ficaram situados na faixa $210,41 \pm 0,97$ - $213,32 \pm 0,69$ mg KOH g⁻¹ para frutos colhidos maduros e verdes, respectivamente (Tabela 3), valores menores que o obtido por FERREIRA et al. (2005), de 316,56 mg KOH g⁻¹, e próximos ao obtido por FERREIRA et al., (2008), de 202,71 mg KOH g⁻¹, também para óleo de polpa de tucumã (*Astrocaryum vulgare*).

O índice de saponificação é inversamente proporcional à massa molecular média dos ácidos graxos que compõem a molécula dos triglicerídeos, sendo assim, sua importância é indicar a presença de óleos com alta proporção de ácidos graxos e de baixo peso molecular. Desta forma, quanto menor a massa molecular do ácido graxo, maior será o índice de saponificação (PEREIRA, 2007).

As alterações nas propriedades químicas dos óleos observadas no presente estudo podem ter ocorrido devido a fatores como a origem, grau de maturação, condições de armazenamento e principalmente, de extração do óleo da polpa de tucumã (BASTOS & ASSUNÇÃO, 1998). Assim é necessário realizar um refino nos óleos visando à diminuição dos índices que estão elevados.

Os cromatogramas das amostras de óleo extraídas da polpa dos frutos de tucumã colhidos em diferentes locais no Estado do Acre apresentaram o mesmo padrão, sendo os ácidos graxos encontrados, com as respectivas porcentagens apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 - Ácidos graxos presentes no óleo do tucumã.

Número de Carbono E Duplas ligações	Ácidos graxos	Concentração %
C16:0	Palmítico	22,7
C16:1	Palmitoléico	0,3
C18:0	Esteárico	33,9
C18:1	Oléico	38,7
C18:2	Linoléico	0,9
C18:3	Linolênico	1,2
C19:0	n-Nonadecílico	0,2
C20:0	Araquídico	1,5
C20:1	Gadolênico	0,6

Cerca de 99,9% dos ácidos graxos encontrados no óleo obtido dos frutos de tucumã foi composto por ácidos graxos de cadeias longas, com 16 a 20 átomos de carbono. Das 9 espécies detectadas, 8 eram de ácidos graxos de cadeia par, perfazendo 99,8% da fração ácidos graxos. As frações predominantes foram constituídas pelos ácidos palmítico (C16:0, com 22,64%), esteárico (C18:0, com 33,9%) e oléico (C18:1, com 38,5%), a três espécies perfazendo 95,1% do total. Em assim sendo, 56,6% da fração ácidos graxo do óleo de tucumã foi constituída por ácidos graxos saturados de cadeia par.

Os resultado obtidos neste trabalho foram muito diferentes dos obtidos por FERREIRA et al., (2008), cujo óleo extraído da polpa do fruto de tucumã apresentou 29% de ácidos graxos saturados, 68% de monoinsaturados e apenas 1% de poliinsaturados. Naquele trabalho, ácido oléico foi o que ocorreu em maior proporção, com 67,6%, sendo ácido palmítico o principal representante dos ácidos saturados, com 22,9% da composição total. Segundo MAMBRIM & BARRERA-ARELLANO (1997) e BROCHIER (2000), a composição em ácidos graxos insaturados no óleo de tucumã pode representar até 77%, sendo 62 a 68,4 % constituída pelo ácido oléico.

4.3. Avaliação da fertilidade do solo, quantidade no fruto, lipídeos totais em amêndoa e polpa e produtividade de óleo respeitando a estrutura mulvariada contida nos dados.

O gráfico bidimensional dos componentes principais 1 e 2 mostra a distribuição das amostras em conjunto com a distribuição das variáveis (Figura 6). A variabilidade retida nestes componentes explicou 60,3% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP2 retêm cada um, 37,7% e 22,6%, respectivamente.

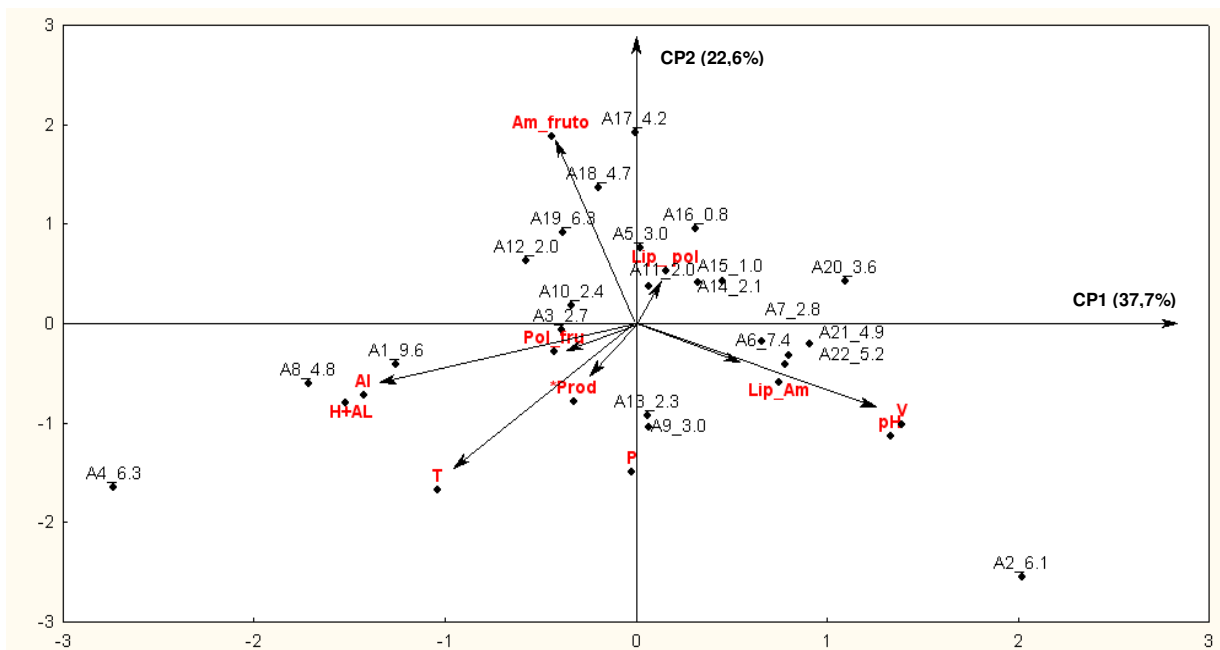


FIGURA 6 - Gráfico bidimensional dos componentes principais 1 e 2 mostrando as distribuições das amostras e dos autovetores das variáveis analisadas.

Em CP1 (eixo horizontal), as variáveis com maior poder discriminatório, em ordem de importância foram: H+Al (-0,93), Al (-0,87), V (0,85), pH (0,81) e T (-0,67), na qual cada valor contido entre parênteses representa a correlação entre cada variável e um componente principal. Na Figura 6, quanto mais uma amostra se posiciona nas extremidades do eixo (esquerda ou direita) mais padrões específicos ela apresenta nessa dimensão. Assim, aquelas amostras localizadas à esquerda (correlação negativa) possuem maiores concentrações de H+Al, Al e T nas amostras de solos e aquelas localizadas à direita (correlação positiva) possuem maiores valores de V e pH nas amostras de solos. Logo, as amostras A1_9,6; A4_6,3; A8_4,8 possuem maiores concentrações de H+Al, Al e T e a amostra A2_6,1 possui maiores valores de pH e V.

Em CP2 (eixo vertical), as variáveis com maior poder discriminatório em ordem de importância foram: Am_fruto (0,79), T (-0,70) e P (-0,63), na qual os valores contidos nos parênteses representam as correlações entre cada variável e um componente principal. Na Figura 7, quanto mais uma amostra se posiciona nas extremidades do eixo (abaixo ou acima) mais padrões específicos a amostra apresenta nessa dimensão. Assim, aquelas amostras localizadas abaixo (correlação negativa) possuem maiores concentrações de T e P nas amostras de solos e aquelas localizadas acima (correlação positiva) possuem maior quantidade de amêndoa nos frutos. Logo, as amostras A18_4,7 e A17_4,2 tendem a ter maior quantidade de amêndoa nos frutos e A2_6,1 e A4_6,3 tendem a possuírem maiores concentrações de T e P.

Considerando os dois eixos CP1 e CP2 ortogonais (Figura 6) tem-se a distribuição das amostras resumidas num plano bidimensional. As amostras que estão próximas à origem (0.0), não possuem características discriminatórias, indicando que os padrões dessas amostras estão dentro de uma média estatística. As amostras A1_9,6; A2_6,1; A4_6,3; A8_4,8, A18_4,7 e A17_4,2 se posicionam dentro de uma região periférica tendo por isso características próprias relevantes. Pode ser notado na Figura 7 que as amostras localizadas abaixo, em geral, são aquelas com maior produtividade de óleo por planta distribuída tanto em solos com alta e baixa fertilidade. As amostras A1_9,6; A4_6,3; A8_4,8 apresentaram boas produtividades em solo com elevada capacidade de troca catiônica, mas com alta saturação por alumínio e elevada acidez

potencial e a amostra A2_6,1 em solos com melhor fertilidade, caracterizado pelos valores de pH e V.

Então ao interpretar o gráfico, pode ser verificado que as amostras localizadas na horizontal à esquerda e na vertical abaixo apresentaram boas produtividades mesmo em solos ácidos e de fertilidade baixas, comprovando os relatos extraídos da FAO (1987), que é comum o tucumã crescer em solos com baixa fertilidade da terra firme, onde produz por muitos anos sem a aplicação de adubo. Essa característica de serem plantas produtivas mesmo em solos ácidos e de baixa fertilidade é um fator de fundamental importância para a região, pois pela distância dos pontos produtores de fertilizantes e corretivos, esses são muito caros. Além disso, a utilização dessa plantas como fonte de renda para agricultura familiar ou mesmo como fonte de energia para comunidades isoladas da região Amazônica, que necessitam de plantas adaptadas aos solos da região, pois nesses casos não têm acessibilidade aos corretivos e fertilizantes.

Ainda na Figura 6, foi observado que os vetores obtidos na análise de componentes principais, em que pode ser notada uma associação entre as variáveis P, T, H+Al e Al e a produtividade de óleo por planta. Assim, quanto mais abaixo a posição de uma amostra, maior tendência em alta produção. Em contra partida as amostras que tendem a apresentar maior quantidade de amêndoa no fruto (Am-fr), têm tendência a apresentar menores produtividades.

Como o terceiro autovalor foi acima da unidade tem-se ainda informação relevante a ser considerada e assim foi construído o plano bidimensional formado por CP1 e CP3 (Figura 7). A variabilidade retida nestes dois componentes explicou 52,1% da variabilidade original, sendo que CP1 e CP3 retêm, cada um, 37,7% e 14,4%, respectivamente.

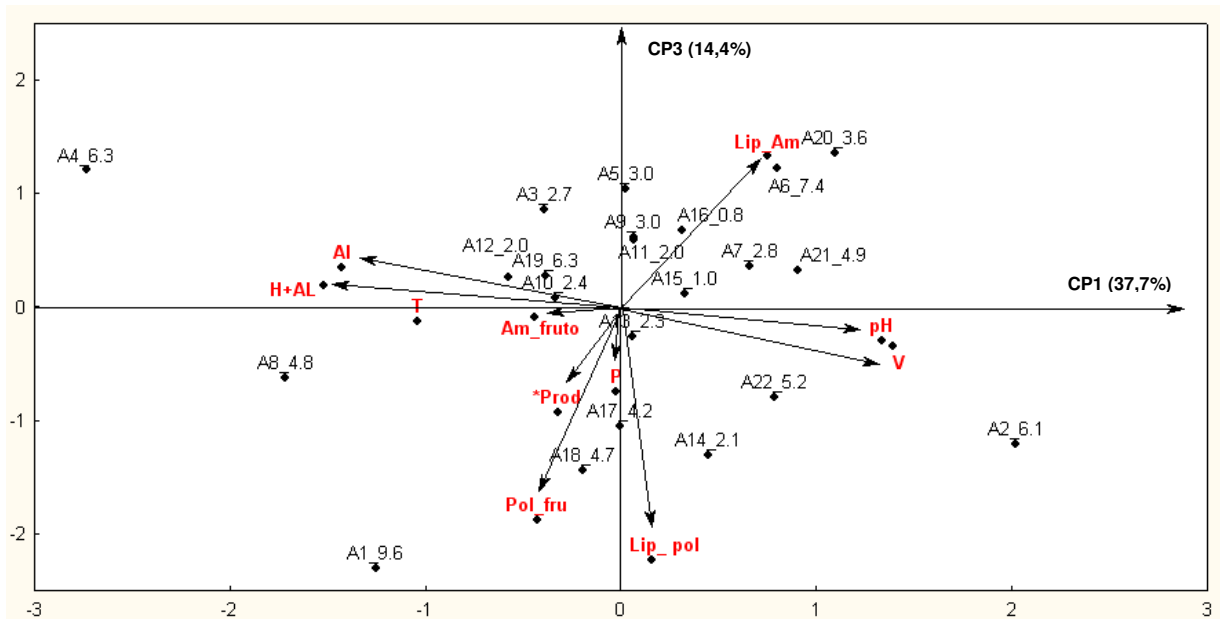


FIGURA 7 - Gráfico bidimensional dos componentes principais 1 e 3 mostrando as distribuições das amostras e dos vetores das variáveis analisadas.

As variáveis com maior poder discriminatório por ordem de importância foram: Lip_pol (-0,80), Pol_fruto (-0,67). Assim, as amostras A1_9,6; A2_6,1; A8_4,8 possuem maiores quantidades de polpa nos frutos e de lipídeos na polpa enquanto que a amostra A20_3,6 possui menores quantidades. As amostras A1_9,6; A8_4,8 possuem maior produtividade de óleo por planta por possuírem maior quantidade de polpa nos frutos e A2_6,1 por apresentar maior quantidade de lipídeos na polpa. Pode ser observado também que os autovetores CP1 e CP3 apresentam uma associação entre a variável quantidade de polpa nos frutos e a produtividade de óleo por planta. Assim, amostras localizadas abaixo em CP3 tendem a ter maior produtividade.

5. CONCLUSÕES

Os locais de amostragem influenciaram na quantidade de lipídeos totais contidos na amêndoa e na polpa e no rendimento aparente da prensa.

O óleo extraído da polpa dos frutos de tucumã apresentou características físico-químicas que o recomendam para ser utilizado na produção de biodiesel, porém o ponto de colheita dos frutos, as condições de armazenamento e principalmente a extração do óleo devem ser realizados com cuidado, para que o óleo não sofra alterações nas características físico-químicas.

O tucumazeiro é uma espécie que possui boa produtividade em óleo, mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade, apresentando potencial para ser utilizado como uma fonte adicional de renda pelas comunidades da Amazônia.

6. REFERÊNCIAS

- ANGELUCCI , E. et al. **Análises químicas de alimentos: Manual Técnico**. Campinas: ITAL, 1987. 123p.
- ANVISA. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. **Diário Oficial República Federativa do Brasil**, Brasília, 1999, p. 82 - 87.
- AOAC. Association Of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Maryland, 1997. 1141 p.
- ARAUJO, D. G.; CARVALHO, S. P.; ALVES, R. M. Divergência genética entre clones de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* WILLD EX SPRENG SCHUM). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 13-21, 2002.
- BASTOS, A. C. L. M.; ASSUNÇÃO, F. P. Oxidação dos óleos de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.). In: FARIA, L. J. G.; COSTA, C. M. L. **Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais**. Belém: UFPA, NUMA, POEMA, 1998. p. 152-152. (UFPA. Poema, 7).
- BROCHIER, J. **Hulie naturellementt riche en caroténoides (*Astrocaryum vulgare Mart*)**. París: JBA, 2000. 132 p.
- CALAIS, P.; CLARK, T. Waste vegetable oil as a diesel replancement fuel. Disponível em: <<http://www.shortcircuit.com.au/warfa/paper/paper.htm>.> Acesso em 20 out de 2009.
- CASTRO, J. C.; SILVA, L. P.; BARRETO, A. C. Produção sustentável de biodiesel a partir de oleaginosas amazônicas em comunidades isoladas. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1, 2006, Brasília/DF. **Anais...**, v. 1, p. 285-289, 2006.

- CAVALCANTE, P.B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 5. ed. Belém: Edições CEJUP, 1991, 279 p.
- CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 6. ed. Belém: CNPq/Museu Paraense Emílio Goeldi, 1996. 279p. (Coleção Adolpho Ducke).
- CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 207 p.
- CETEC. Centro de Tecnologia. **Centro de produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Belo Horizonte, 1983. v. 2.
- CHIERICE, G. O.; CLARO NETO, S. Aplicação industrial do óleo. In: AZEVEDO, D. M. P de; LIMA, E. F. (Org.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília/DF.: EMBRAPA, 2001. p. 89-120.
- CHRISTENSEN, T. et al. Extração de vitaminas e lipídeos do tucumã (*astrocaryum Vulgare*, mart.) em leito fixo usando CO₂ supercrítico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA E INTERAMERICAN CONGRESS OF CHEMICAL ENGINNERING, 13, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Química, 2000. p. 1-9.
- COSTA NETO, P. R. et al. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química. Nova**, São Paulo/SP, v. 23, p. 531-537, 2000.
- DAMBISKI, L. Síntese de biodiesel de óleo de nabo forrageiro empregando metanol supercrítico. 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2007.
- DANTAS, H. J. et al. Caracterização Físico-Química e Estudo Térmico de Biodiesel Etílico de Algodão. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 1, 2006, Brasília/DF. **Anais...**, v. 1, p.231-235.
- FAO. Food and Agriculture Organization. **Espécies florestais produtoras de frutas e otros alimewntos**. 3. ed. Ejemplo de America Latina, 44/3. FAO, Rome, 1987. 241 p.
- FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Oxidative stability of biodiesel from soybean oil fatty acid ethyl esters. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 3, p. 291-295, 2005.

- FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA Jr., M. E. **Avaliação da fertilidade empregando o sistema IAC de análise de solo**. Jaboticabal/SP, FCAV/Unesp, 1990. 91 p.
- FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; SILVEIRA, C. S. Caracterização física do fruto, análise físico-química do óleo extraído do mesocarpo do tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) e Inajá (*Maximiliana regia* Mart.). CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2, 2005. Varginha/MG. **Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**. Lavras : Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da UFLA, 2005. v. 2. p. 493-496.
- FERREIRA, E. S.; LUCIEN, V. G.; SILVEIRA, C. S. Caracterização Físico-Química do Fruto e do Óleo Extraído de Tucumã (*Astrocaryum Vulgare* Mart). **Alimentos e Nutrição (Unesp)**, Araraquara/SP, v. 19, n. 4, p. 427-433. 2008.
- FIGLIUOLO, R. et al. Prospecção para o uso adequado e sustentável de sementes oleaginosas na produção de biodiesel na Amazônia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 27, 2004, Salvador/BA. **Anais da XXVII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**. (CD Room).
- FIGLIUOLO, R.; SILVA, J. D.; COSTA, M. S. T. A. Produção de Biodiesel na Cadeia Produtiva e Sustentável do Tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* G.F.W. Mayer) (Arecácea, palmeira). In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2, 2007, Brasília/DF. **Anais...**, p. 73-73.
- FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. Global bioenergy potentials through 2050. **Biomass & Bioenergy**, Pergamon, v. 20, n. 3, p. 151-159, 2001.
- FREIRE, R. M. M. Ricinoquímica. In: AZEVEDO, D. M .P. de; LIMA, E. F. (Org.). **Agronegócio da mamona no Brasil**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001, p. 295-335.
- HAYNES, J.; McLAUGHLIN, J. Edible palms and their uses. **Institute of Food and Agricultural Sciences**. University of Florida, 2000, 13 p.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, v.1: Métodos físicos e químicos para análise de alimentos. 3. ed. São Paulo, 1985, 533 p.

INTERNATIONAL OIL COUNCIL, COI/T.20/DOC no 24, 2001. Disponível em: <www.internationaloliveoil.org/> Acesso em 20 jul. de 2009.

KAISER H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. **The Biodiesel Handbook**. 2005, 302 p.

KUCEK, K. T. et al. Implicações do uso do biodiesel como modelo para projetos MDL. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE FIXAÇÃO DE CARBONO SOB A ÓTICA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2, 2004, Curitiba/PR. **Anais do 2º Simpósio Latino-americano sobre Fixação de Carbono sob a Ótica do Desenvolvimento Sustentável**. (CD Room).

LORENZI, H. et al. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 432 p.

LUTTERBACH, M. T. S. et al. Avaliação da Tendência à Biocorrosão e da Estabilidade à Oxidação de Biodiesel Metílico de Soja e Mistura B5. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL, 1, 2006, Brasília/DF. **Anais...**, v. 1, p. 201-206.

MACHADO, J. C. V. **Reologia e Escoamento de Fluidos - Ênfase na indústria do petróleo**. Rio de Janeiro/RJ. Interciência: Petrobrás. 2002.

MALACRIDA, C. R. Alterações do óleo de soja e da mistura azeite de dendê - óleo de soja em frituras descontínuas de batatas chips. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas/SP (ITAL), v. 6, n. 2, p. 245-249, 2003.

MAMBRIM, M. C. T.; BARRERA-ARELLANO, D. Caracterización de aceites de frutos de palmeiras de la region amazônica del Brasil. **Grasas y Aceites**, Sevilha, v. 48, n. 3, p. 154-158, 1997.

MENDONÇA, M. S. **Aspectos morfológicos das sementes de algumas espécies de palmeiras (Arecaceae = Palmae) da Amazônia**. Concurso de Professor Titular, Universidade do Amazonas, Manaus, 1996, 68 p.

MIRANDA, I. P. A. et al. **Frutos de Palmeiras da Amazônia**. Manaus: MCT INPA, 2001. 120 p.

- MORETTO, E.; FETT, R. **Definição de óleos e gorduras tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998. 144 p.
- MORÓN-VILLARREYES, J. A. Óleos vegetais. In: FARIA, L. J. G.; COSTA, C. M. L.(coord.). **Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais**. Belém: UFPA, NUMA, 1998, p. 9-28 (série POEMA, 7).
- MUNIYAPPA, P. R.; BREMNER, S. C.; NOUREDAINE, H. **Bioresource Technology**, Essex, v. 56, p. 19-22, 1996.
- NASCIMENTO, J. F.; FERREIRA, E. J. L.; REGIANI, A. M. Parâmetros biométricos dos cachos, frutos e sementes da palmeira tucumã (*Astrocaryum aculeatum* g. meyer), no estado do Acre, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 5, 2007, Guarapari/ES. Revista Brasileira de Agroecologia. Porto Alegre - RS : Associação Brasileira de Agroecologia, 2007, v. 2, p. 1314-1318.
- OZDEMIR, F.; TOPUZ, A. Changes in dry matter, oil content and fatty acids composition of avocado during harvesting time and post-harvesting ripening period. **Food Chemistry**, n. 86, p. 79-83, 2004.
- PALLET, D. **Perspectivas de valorização dos frutos amazônicos obtidos por extrativismo**. Colóquio SYAL, Montpellier, Cirad Flhor, São Paulo, 2002.
- PANTOJA, N. V. et al. Estudo da viabilidade do uso dos frutos da palmeira tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Meyer) para a extração de óleo e síntese de biodiesel. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 57, 2006, Gramado/RS. **Anais...** (CD Room)
- PARENTE, E. J. S. **Biodiesel Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. 66 p, Fortaleza/CE, 2003.
- PARENTE, E. J. S. Biodiesel no plural. In: **O Futuro da Indústria: Biodiesel**. Coletânea de Artigos, Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14, Brasília/DF: 2006, p. 91-104.
- PEREIRA, F. E. A. **Biodiesel produzido a partir do óleo de sementes de *Mabea fistulifera***. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG. 2007.

- PESCE, C. Oil palms and other oilseeds of the amazon. **Revista de Veterinária**, Belém/PA,. 1941. 131 p.
- PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo *expeller*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas/SP, v. 28, p. 66-71, 2008.
- PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 13, n. 1, p. 63–67, 2009.
- PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba, FEALQ, 2002. 2009 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba/SP: Ceres/Assoc. Bras.Pesq. Potássio e do Fosfato, 1991. 343 p.
- RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina/PR. **Anais...** Londrina: Embrapa-Soja, 1999. p. 233-236.
- RAMOS, L. P. Aspectos técnicos sobre a produção de biodiesel. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BODIESEL, 1, 2003a. Londrina/PR. **Anais...** (CD Room).
- RAMOS, L. P. et al. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, São Paulo/SP, v. 31, p. 28-37, 2003b.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 1ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 194 p.
- ROVERI, J. R. Introdução básica a viscosidade e reologia – BRASEG. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1995, 9p. (Trabalho apresentado na Conferência Internacional Têxtil/confecção).
- SÁ FILHO, H.L. de et al. Informativo do INT, Rio de Janeiro, v.12, n.22, p.29-39, 1979.
- SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo/SP, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

- SINGH, J.; BARGALE, P. C. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 75-82, 2000.
- SOUZA, A. G. C. et al. **Fruteiras da Amazônia**. 1. ed. Brasília: Embrapa SPI, 1996, 204p.
- TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química e frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal/SP, v. 26, n. 1, p. 17-23, 2004.
- TOLEDO, R. T. **Fundamentals of of Food Processing Engineering**. 2. Ed: Chapman & Hall Food Science Book, 1991, 602 p.
- URAKAWA, B. A. M. et al. Análise da Qualidade do Biodiesel produzido a partir do Processo de Transesterificação por Via Etanólica do óleo de Tucumã (*Astrocaryum vulgare*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5, 2008, Lavras/MG. **Anais...** (CD Room)
- USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Standards for the use and disposal sewage sludge**. Washington. (Code of Federal Regulations 40 CFR Part 503), 1986.
- VAN RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed.: Campinas/SP, Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997, p. 261-273.
- VERAS, E. A.; NUNOMURA, S. M.; FIGLIUOLO, R. Carotenóides de frutos de palmeiras da Amazônia. In: Jornada de Iniciação Científica, 14, 2005. **Anais...** Manaus: INPA-FAPEAM. 2005.
- WEISS, E. A. Oilseed processing and products. In: _____. **Oilseed crops**. London: Longman, 1983. cap. 11, p. 528 – 596.
- ZAGONEL, G. F. **Obtenção e caracterização de biocombustíveis a partir da transesterificação etílica em meio alcalino**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica). Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2005