



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA – CTEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA – PPGEQ
MESTRADO

MARIA BEATRIZ FARIAS DE OLIVEIRA

**Estudo integrado da espécie palmeira ouricuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari)
para geração de energia**

Maceió – AL
2013

**Estudo integrado da espécie palmeira ouricuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari)
para geração de energia**

MARIA BEATRIZ FARIAS DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA COMO PARTE
DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA
QUÍMICA.

Orientadora: Professora Simoni M. P. Meneghetti
Co-orientador: Professor João Inácio Soletti

MACEIÓ – AL
2013

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Fabiana Camargo dos Santos

- O48e Oliveira, Maria Beatriz Farias de.
Estudo integrado da espécie palmeira ouricuri (*Syagrus coronata* (Martius) beccari) para geração de energia / Maria Beatriz Farias de Oliveira. -- 2013.
68 f. : il., tabs., graf.
- Orientadora: Simoni Margareth Plentz Menghetti.
Co-orientador: João Inácio Soletti.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2013.
- Bibliografia: f. 64-68.
1. *Syagrus coronata* – Biomassa. 2. Biocombustíveis. 3. Aproveitamento energético. I. Título.

CDU: 662.7

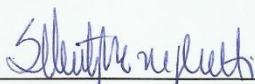
Maria Beatriz Farias de Oliveira

**ESTUDO INTEGRADO DA ESPÉCIE PALMEIRA OURICURI (SYAGRUS
CORONATA (MARTIUS) BECARRI) PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

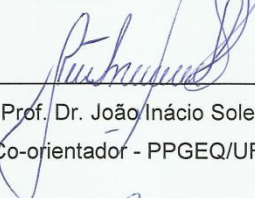
Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Alagoas, como requisito para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia
Química.

Aprovada em: Maceió, 18 de fevereiro de 2013.

BANCA EXAMINADORA



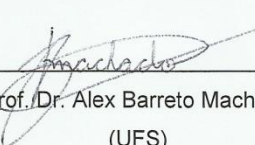
Prof.ª. Dr.ª. Simoni Margareti Plentz Meneghetti
(Orientadora – PPGEQ/UFAL)



Prof. Dr. João Inácio Soletti
(Co-orientador - PPGEQ/UFAL)



Prof.ª. Dr.ª. Carmem Lúcia de Paiva Zanta
(PPGEQ/UFAL)



Prof. Dr. Alex Barreto Machado
(UFS)



“Não se acostume com o que não o faz feliz,
Revolte-se quando julgar necessário.
Alague seu coração de esperanças,
Mas não deixe que ele se afogue nelas.
Se achar que precisa voltar, volte!
Se perceber que precisa seguir, siga!
Se estiver tudo errado, comece novamente.
Se estiver tudo certo, continue.
Se sentir saudades, mate-a.
Se perder um amor, não se perca!
Se o achar, segure-o!”
(Fernando Pessoa)

Dedico esta dissertação não só as pessoas que acreditaram em meu potencial, que mesmo sem saber do que se tratava ao certo, diziam estamos aqui: Amaro, Rosangela, Pedro, Eduardo, Caquinho e Pedrinho, como também àquelas que tentaram apagar o sorriso do meu rosto. MUITO OBRIGADA!!

AGRADECIMENTOS

- ♥ À Deus por me ter concedido a graça de terminar mais um trabalho acadêmico em minha vida;
- ♥ Aos meus pais, Amaro Serafim e Rosangela Maria, que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial;
- ♥ Aos meus irmãos, Pedro Henrique e Carlos Eduardo, pelo companheirismo de sempre;
- ♥ Aos meus amores, Pedro Henrique (Pedrinho) e Carlos Eduardo (Caquinho), pelas alegrias quando estava triste;
- ♥ A minha orientadora, Professora Doutora Simoni Margareth Plentz Meneghetti, por todo profissionalismo, apoio, orientação, amizade e por ter tornado possível a realização deste trabalho;
- ♥ Ao Professor Doutor João Inácio Solleti, pela orientação e os puxões de orelha dados durante a realização do trabalho;
- ♥ A Professora Doutora Janaina Bortoluzi por todas as análises realizadas e ensinamentos passados durante o trabalho;
- ♥ Aos Professores Mario Meneghetti e Rusiene Almeida por todo apoio e brincadeiras em ‘horas vagas’;
- ♥ Aos Professores Carmem Zanta e Alex Machado pelas contribuições neste trabalho no exame de qualificação;
- ♥ À Professora Flávia e seus colaboradores, pelo envio das amostras de ouricuri;
- ♥ Aos amigos Cenira Monteiro, Cristhiane Omena, Maria Emília Menezes, Jaqueline Silva, Joseane Luna, Érica Verena, Luciana Viana, Aldy dos Santos, Maria Raquel Ferreira e João Gomes da Costa que se mostraram amigos presentes em todas as horas. Sem vocês a UFAL não seria a mesma!!!
- ♥ Aos amigos do início da graduação Cleylton Lopes, Francisco Silva, Mikael Freitas, Fred Augusto, Márcio Thiago Batista, Fabiana Vanderlei;
- ♥ Ao Professor Antônio Euzébio, por ter me incentivado a buscar novos caminhos;
- ♥ Ao Professor Paulo Anselmo Suarez, por ter realizado análises importantes em seu laboratório;
- ♥ A Professora Suely Freitas, por ter me recebido tão bem durante uma das etapas do trabalho em seu laboratório. Aos membros do grupo LPMPV – Nina Kátia, Luciana Reis, Mauricio, Meyre, Isabelle e Carol por toda ajuda;

- ♥ Aos membros do grupo GCAR, em especial Filipe Lins, Caio Sena, Felyppe Altino e ela, Jhosianna Patrícia, por toda ajuda prestada durante este trabalho;
- ♥ Aos membros do Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP) por toda ajuda, em especial ao Bruno Permínio;
- ♥ Aos Professores Wagner Pimentel, Ana Karla Abud, Simoni Meneghetti, William, Frede Oliveira, Antônio Osimar, Maritza Montoya, Karla Barcellos, Sandra Carvalho por todo ensinamento passado durante o mestrado;
- ♥ Ao CNPq, pelo apoio financeiro concedido neste estudo;
- ♥ E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

O petróleo é a maior fonte de energia mundial e recentemente foram descobertas reservas ultraprofundas (pré-sal), porém sendo não renovável tem a possibilidade de se esgotar e, uma das energias que se torna possível substituta é a energia proveniente da biomassa. Nesse contexto, um dos maiores desafios é desenvolver matrizes energéticas a partir de fontes alternativas de baixo custo, tornando-as competitivas economicamente. Entre as diversas alternativas, destaca-se a utilização de resíduos de biomassa para geração de energia através da queima. O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo com a espécie de palmeira nativa no Nordeste brasileiro, *Syagrus coronata* (Martius) Beccari como potencial uso como fonte alternativa de energia. Ao avaliar a qualidade das partes do ouricuri, com e sem compactação, para fins energéticos e posterior obtenção e caracterização do óleo (obtido a partir da amêndoa), azeite (obtido a partir da polpa) e biodiesel (obtido a partir da amêndoa) observa-se sua potencialidade como fonte alternativa de energia. O endocarpo, as folhas e o epicarpo do ouricuri apresentaram valores para o poder calorífico em torno de 17.000 J, e seu poder calorífico é comparável a biomassas como bagaço de cana e palha de milho (que são muito utilizadas no estado de Alagoas). Os biodieseis etílico e metílico produzidos, a partir do óleo de Ouricuri, via catálise básica, apresentaram-se de acordo com as especificações da Agência Nacional de Petróleo, para os parâmetros de viscosidade a 40°C, densidade a 20°C, resíduo de carbono, poder calorífico e entupimento de filtro a frio.

Palavras chaves: *Syagrus coronata*. Biocombustíveis. Aproveitamento energético

ABSTRACT

Fossil oil is the major source of energy and pre salt deposits were discovered recently. Besides that, this source is not renewable and one possible substitute is the energy from biomass. In this context, one of the biggest challenges is to develop energy matrices from alternative sources of low cost, making them economically competitive. Among the various alternatives, we highlight the use of biomass residues for energy generation by burning. This work aims to make the study of the species of palm native to northeastern Brazil, *Syagrus coronate* (Martius) Beccari as a potential use as an alternative energy source. When evaluating the quality of the parts of ouricuri, with and without compactation, for energy use and subsequent extraction and characterization of oil and biodiesel production is possible to observe a potential as an alternative energy source. Several parts of ouricuri samples presented to the calorific values around 17,000 J, and its calorific value is compared to biomass such as sugarcane bagasse and corn stover (which are widely used in the state of Alagoas).The biodiesel ethylic and methylic produced,from the oil of Ouricuri, in the presence of basic catalyst, are according to National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels specifications, considering the results of viscosity at 40 °C, density to 20°C, residue carbon, calorific power and cold filter plugging point.

Keywords: *Syagrus coronate*. Biofuels. Energy use

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um gaseificador	18
Figura 2 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa	20
Figura 3 - Distribuição das fontes energéticas no Brasil em 2010	21
Figura 4 - Produção de resíduos em cada região do Brasil	22
Figura 5 - Potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro.	22
Figura 6 - Palmeira ouricuri.	24
Figura 7 - Distribuição geográfica de ouricuri no Brasil em 2010.	25
Figura 8 - Detalhes da folha	25
Figura 9 - Cacho e sud-divisões do fruto	26
Figura 10 - Reação de craqueamento.	28
Figura 11 - Matérias - primas utilizadas para produção de biodiesel.	29
Figura 12 - Reação de esterificação (direta) e hidrólise (inversa)	31
Figura 13 - Transesterificação de triacilglicerídeos, onde R', R'' e R''' representam à cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos e R, a cadeia hidrocarbônica do álcool	32
Figura 14 - Sistema utilizado em laboratório para fazer a compactação das amostras	35
Figura 15 - Equipamento vibrador de peneiras	36
Figura 16 - Estufa de ventilação utilizada para medir a umidade das amostras	37
Figura 17 - Mufla utilizada para determinar o teor de cinzas	38
Figura 18 - Bomba calorimétrica IKA C-200	39
Figura 19 - Prensa contínua	40
Figura 20 - Prensa hidráulica	40
Figura 21 - Reator de vidro	43
Figura 22 - Resultados de granulometria para epicarpo, galhos e folhas	45
Figura 23 - Aspectos das amostras testadas nos experimentos	46
Figura 24 - Aspectos das amostras utilizadas na determinação de umidade	48
Figura 25 - Amostras testadas em estado de cinzas	50
Figura 26 - Comparação entre PCS's de várias biomassas diferentes.	53

Figura 27 - Cromatograma do óleo de ouricuri	55
Figura 28 - Cromatograma do azeite de ouricuri	57
Figura 29 - Comparação dos espectros de RMN ^1H para o óleo e os biodieseis metílico e etílico	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ácidos graxos presentes em óleos vegetais	33
Tabela 2 - Resultados obtidos para umidade das amostras	47
Tabela 3 - Resultados dos teores de cinzas	49
Tabela 4 - Resultados para a análise de densidade	51
Tabela 5 - Resultados de poder calorífico superior das partes do ouricuri.	52
Tabela 6 - Adaptação de Quirino, 2004, PCS de outros resíduos	53
Tabela 7 - Poder calorífico inferior das partes do ouricuri	54
Tabela 8 - Composição em ácidos graxos presente no óleo de ouricuri	56
Tabela 9 - Características físico-químicas do óleo de ouricuri	56
Tabela 10 - Comparação da composição em ácidos graxos presente no óleo e no azeite de ouricuri.	58
Tabela 11 - Parâmetros físico-químicos dos biodieseis metílico e etílico de ouricuri	60

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação utilizada para cálculo da umidade	37
Equação 2 - Equação utilizada para cálculo do teor de cinzas	37
Equação 3 - Equação utilizada para o cálculo de densidade	38
Equação 4 - Equação utilizada para cálculo do PCI	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Biomassa	17
3.2 Biomassa no Brasil	20
3.3 Família <i>Arecaceae</i>	23
3.4 <i>Syagrus coronata</i> (Martius) Beccari – Ouricuri	24
3.5 Bio-óleo	27
3.6 Biodiesel	28
3.7 Processo de obtenção de biodiesel via reações de esterificação e transesterificação	30
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	35
4.1 Granulometria	36
4.2 Umidade	36
4.3 Cinzas	37
4.4 Densidade	38
4.5 Poder Calorífico Superior e Inferior	39
4.6 Extração do óleo e azeite de ouricuri	40
4.7 Caracterização do óleo e biodiesel de ouricuri	41
4.8 Reação de transesterificação via catálise básica por rota metílica e etílica	43
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 Granulometria	46
5.2 Umidade	47
5.3 Cinzas	48
5.4 Densidade	50
5.5 Poder calorífico superior e inferior	51
5.6 Extração e caracterização do óleo e azeite de ouricuri	54
5.7 Reações de Transesterificação	58

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7 PERSPECTIVAS	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro apresenta uma diversidade de espécies oleaginosas nativas dentre as quais as palmeiras geralmente se sobressaem pelo amplo uso na economia informal. Algumas destas espécies como o buriti (*Mauritia flexuosa*), a macaúba (*Acrocomia aculeata*), o babaçu (*Orbygnia barbosiana*) e o ouricuri (*Syagrus coronata*), produzem óleo com excelentes características físico-químicas.

O uso do biodiesel em substituição ao óleo diesel mineral, além de proporcionar redução na emissão de gases e partículas prejudiciais à saúde humana, reduz as emissões de dióxido de carbono oriundas de combustíveis fósseis. No Brasil, a Lei 11.097, aprovada em 13 de janeiro de 2005, estabelece percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel mineral, de forma gradual. Para seu cumprimento, estima-se que serão necessários 2,2 bilhões de litros em 2013 (Rodrigues, 2006). As metas iniciais foram antecipadas e desde 1º de janeiro de 2010, o óleo diesel comercializado em todo o Brasil contém 5 % de biodiesel. Esta regra foi estabelecida pela Resolução nº 6/2009 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 26 de outubro de 2009, que aumentou de 4 % para 5 % o percentual obrigatório de mistura de biodiesel ao óleo diesel. Segundo a ANP (2009) a contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis e o Brasil conta hoje com uma capacidade instalada de produção de, aproximadamente, 4.630.000,0 m³/ano.

Porém, o potencial de substituição do diesel mineral é ainda pequeno. A pouca oferta de matéria prima de oleaginosas nativas de alta rusticidade parece ser uma das principais restrições ao uso em larga escala destas espécies. A falta de estudos sobre cultivo e potencial de produção de espécies nativas, como o ouricuri, tem sido o principal empecilho tanto para a produção em larga escala quanto para baixar o custo da produção. A falta de alternativas faz com que 90 % da produção de óleo no Brasil tenha como base a cultura da soja (Beltrão e Oliveira, 2007). Nos próximos anos a quantidade de óleo vegetal no Brasil terá que ser ampliada significativamente para atender tanto a indústria de alimentação, quanto a grande demanda do mercado de combustíveis. A busca de alternativas de produção é um passo fundamental para que o Brasil consiga suprir essa demanda.

No Semi-Árido brasileiro, a irregularidade do regime de chuvas associada à baixa precipitação pluviométrica restringem o cultivo de espécies mais exigentes, que necessitariam

de altos insumos, inviabilizando os custos de produção. Dessa forma a necessidade de utilizar economicamente espécies mais rústicas e tolerantes ao estresse hídrico é um requisito importante à geração de emprego no campo e desenvolvimento da região.

A palmeira ouricuri, praticamente restrita ao Nordeste do Brasil (Medeiros- Costa, 2002), é abundante, tanto no Sertão quanto no Litoral Alagoano, ocupando predominantemente manchas de solos arenosos e siltosos (que não se agregam como a argila). Sua alta rusticidade tem permitido o uso experimental para recuperação de áreas degradadas. Entretanto o pouco conhecimento sobre o mecanismo de controle da germinação de sementes é um obstáculo para sua produção em larga escala (Carvalho, 2005). Estudos visando aprimorar as técnicas de germinação das sementes estão em andamento.

No Sertão de Alagoas, ocupando uma área de 1000 km², entre os municípios de Olho D'água das Flores e Piranhas ocorre uma população nativa da palmeira, com milhares de exemplares. Um estudo sistemático sobre o potencial produtivo da população foi realizado em áreas degradadas no estado. A área apresenta solo arenoso, muito degradado e a vegetação nativa de caatinga foi quase totalmente removida, restando espécies que aparentemente se propagam sob condições adversas e resistentes ao fogo, como provavelmente ocorre com o ouricuri.

O trabalho, ora proposto, faz parte de um projeto de pesquisa que visa o estudo de áreas degradadas para a plantação de espécies nativas, no caso *S. coronata* onde se pretende fazer um estudo de germinação, plantio e análise da viabilidade da exploração de populações nativas de *S. coronata* para utilização integrada das diversas partes da planta na geração de energia.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o potencial da palmeira ouricuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari) para a utilização integrada das diversas partes da planta para a geração de energia.

2.2 Específicos

-Estudar a potencialidade de diversas partes da palmeira *S. coronata*, antes e após compactação pelas análises de:

- Umidade
- Densidade
- Teor de cinzas
- Poder calorífico superior e inferior
- Comparar a potencialidade da palmeira em função da localidade e período da coleta;
- Obter o óleo da amêndoa do ouricuri via prensa contínua e hidráulica;
- Obter o azeite da polpa de ouricuri via aparelho extrator de Soxhlet;
- Caracterizar o óleo e o azeite obtidos por:
 - Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrômetro de Massas;
 - Índice de Acidez
 - Umidade
 - Viscosidade a 40 °C
 - Densidade a 20 °C
 - Produzir e caracterizar o biodiesel do óleo de ouricuri
 - Produção de biodiesel metílico e etílico por reação de transesterificação via catálise básica
- Caracterização por Ressonância Magnética Nuclear ^1H

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biomassa

A biomassa - termo introduzido inicialmente por Eugene Adam - é constituída pelo material produzido por todos os seres vivos (animais, vegetais, fungos e protistas) em seus diferentes processos, isto é, a matéria orgânica viva, desde quando fixa energia solar nas moléculas constituintes de suas células, passando por todas as etapas da cadeia alimentar, ou trófica (Hoffman, 1999).

De certa forma a biomassa começou a perder cada vez mais sua liderança histórica para a energia do carvão, e depois, com o crescimento contínuo do petróleo e do gás natural, a utilização da biomassa foi reduzida praticamente às residências particulares em regiões agrícolas. Analisando as tecnologias das fontes energéticas alternativas renováveis, já suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir o setor energético tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes (Cortez, 2008).

Algumas das fontes de biomassa têm origem em resíduos sólidos urbanos - animais, vegetais, industriais - e florestais e, voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Existem diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia, mas todas as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva.

A biomassa pode ser obtida de vegetais não-lenhosos e lenhosos, como é o caso da madeira e seus resíduos, e também de resíduos orgânicos, nos quais encontram-se os resíduos agrícolas, urbanos e industriais. Assim como também se pode obter biomassa a partir dos biofluidos, como os óleos vegetais (por exemplo, mamona e soja).

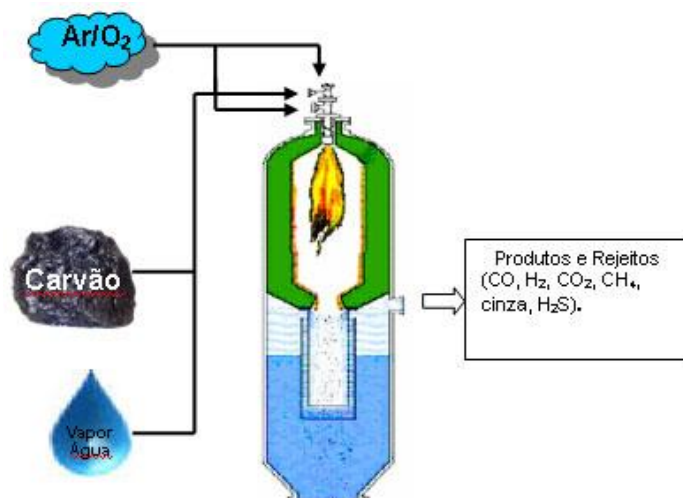
No entanto, deve-se levar em conta que a combustão de qualquer material de origem orgânica produz material particulado, CO₂ ou CO e outros óxidos dependendo do material combustível. Uma vantagem pode ser a utilização de biomassa proveniente de resíduos urbanos, florestais e industriais com o fim de diminuir a quantidade de resíduos em aterros, além do que, alguns processos de obtenção de energia a partir da biomassa produzem uma quantidade bem menor do que os combustíveis fósseis (como o gás natural) (Faria, 2011).

De acordo com CENBIO (2011), as fontes de biomassa se diferenciam de acordo com suas características ou origens. Esta diferenciação deve ser considerada quando se pretende utilizá-la como fonte eficiente para geração de energia. Seu aproveitamento pode ser feito por meio de diversas formas, desde combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, (corte/quebra etc.), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

Para o processo de combustão direta entende-se a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cozimento de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). Embora muito prático e, às vezes, conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade (20% ou mais no caso da lenha) e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (ANEEL, 2011).

O processo de gaseificação, representado na **Figura 1**, é usado para descrever as reações termoquímicas de um combustível sólido (carvão, biomassa) na presença de ar ou oxigênio (O_2), em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão) e vapor d'água, com a finalidade de formar gases que podem ser usados como fonte de energia térmica e elétrica, para síntese de produtos químicos e para a produção de combustíveis líquidos (ABCM, 2012).

Figura 1 - Representação de um gaseificador.



Fonte: ABCM, 2012

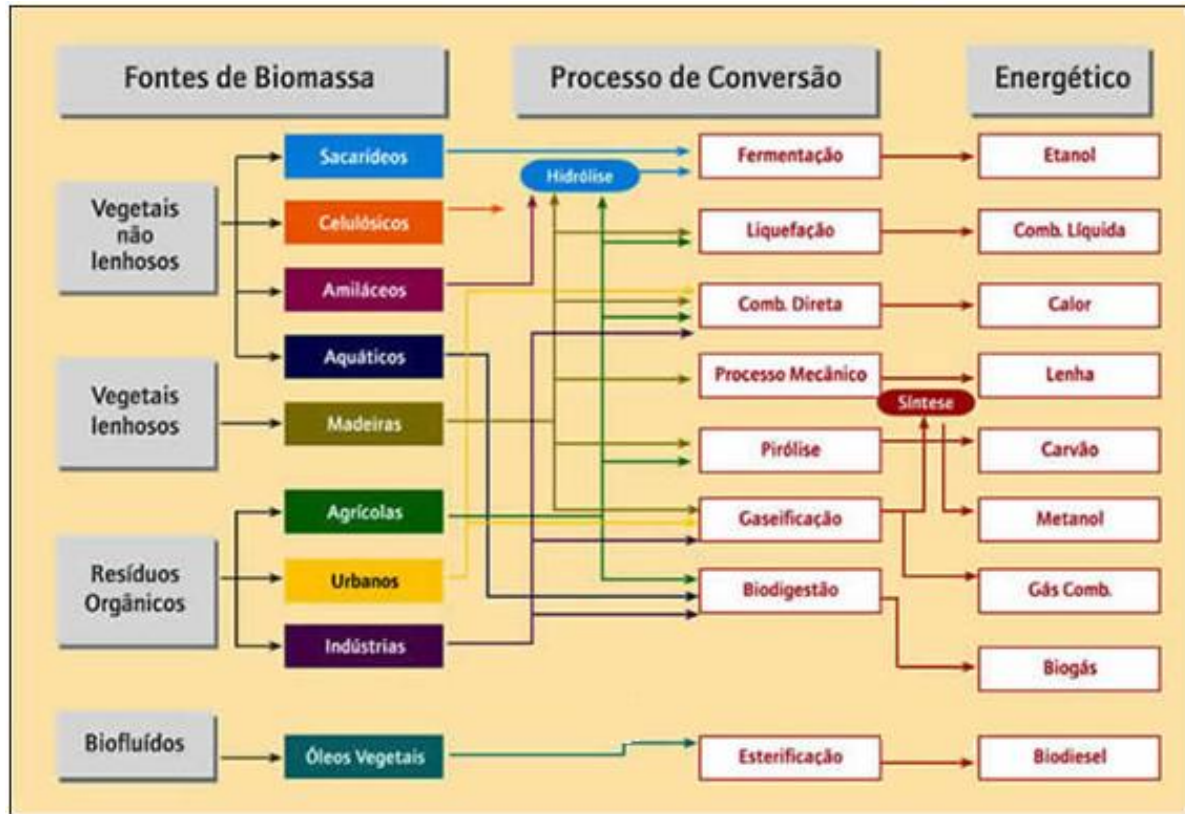
A digestão anaeróbia é um dos mais antigos processos de conversão de resíduos orgânicos a metano. Diversas espécies microbianas participam do processo interagindo em associação sintrófica, direta e indiretamente, e competindo por substratos, na ausência de oxigênio. Reconhece-se 6 etapas no processo de digestão anaeróbia: i. polímeros orgânicos (proteínas, carboidratos e lipídeos) são hidrolisados, por microrganismos hidrolíticos e fermentativos, formando monômeros como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos; ii. bactérias acidogênicas fermentam monômeros orgânicos, por exemplo, aminoácidos, em açúcares, ácidos graxos de cadeia longa e etanol; iii. bactérias acidogênicas oxidam ácidos graxos e álcool; iv. bactérias acidogênicas oxidam produtos intermediários, por exemplo, ácidos voláteis, exceto acetato; v. acetato é convertido em metano e vi. hidrogênio é convertido em metano (ANEEL, 2011; Silva, 2011).

A fermentação é um processo biológico anaeróbio em que os açúcares de plantas como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna (ANEEL, 2011).

O aproveitamento da biomassa pode ser feito de diversas formas, como visto anteriormente, na **Figura 2** é mostrado num fluxograma, de maneira sucinta, o aproveitamento de diversos tipos de biomassas. Os vegetais não lenhosos são tipicamente produzidos a partir de cultivos anuais e são usualmente classificados de acordo com sua principal substância de armazenamento de energia, podendo ser: sacarídeos, celulósicos, amiláceos e aquáticos. Para os vegetais lenhosos, foram considerados aqueles capazes de produzir madeira como tecido de suporte. Do ponto de vista energético, essa produção de madeira faz com que, por meio de processos e tecnologias específicos, haja a disponibilidade de conversão de energia. Os diversos subprodutos das atividades agrícolas, agropecuárias, agroindustriais e urbanas, tais como cascas e outros resíduos lignocelulósicos, podem ser utilizados como combustíveis (CENBIO, 2011). O potencial disponível nestes resíduos nem sempre é bem conhecido, porém corresponde a volumes significativos de energia subaproveitada. Um aspecto essencial relacionado à utilização energética dos resíduos, sobretudo dos restos de lavoura e esterco de animais criados extensivamente, é sua dispersão, que acarreta dificuldades de coleta e transporte. Por outro lado, muitas vezes os resíduos constituem um problema de caráter ambiental e sua disposição final é de difícil solução, sendo

o uso energético uma saída oportuna e viável, já que reduz seu volume e seu potencial contaminante (Karpinsk, 2009).

Figura 2 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2011

Outra forma de agregar valores comerciais às biomassas é realizar sua compactação, processo conhecido também por briquetagem. A briquetagem é uma forma eficiente de concentrar energia disponível na biomassa, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico obtido após o processo de briquetagem. Da compactação de resíduos de base lignocelulósicos obtém-se briquetes com qualidade superior a qualquer espécie de lenha, com 2 a 5 vezes mais densidade energética.

3.2 Biomassa no Brasil

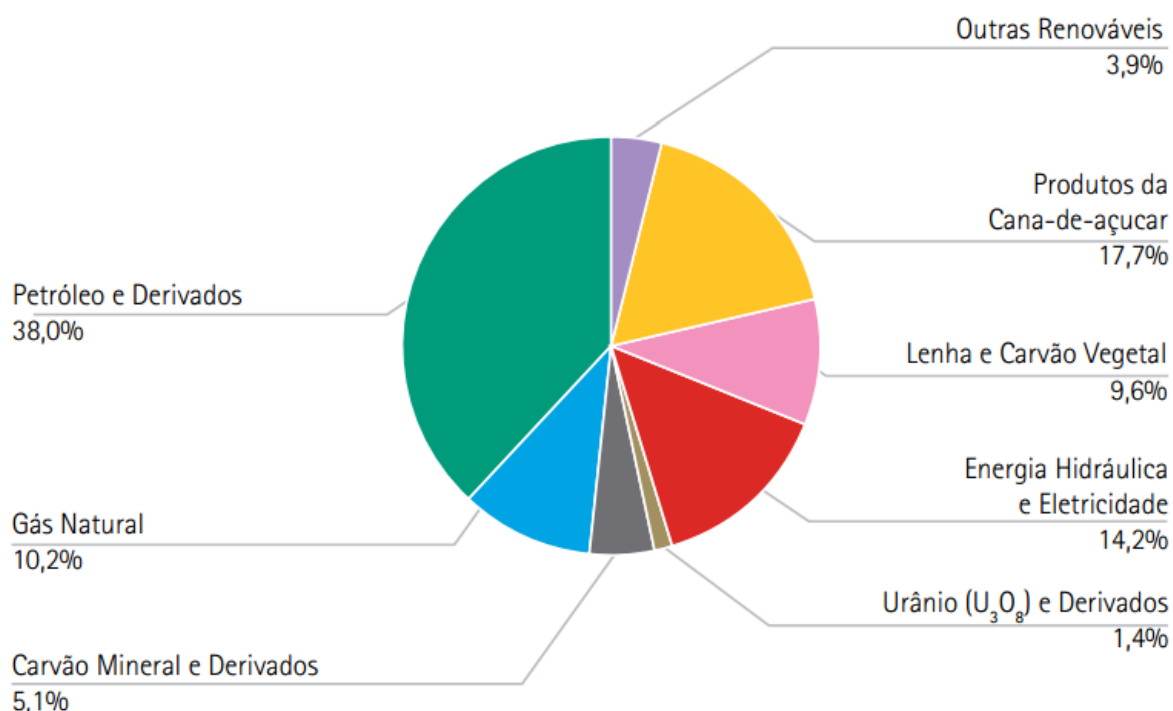
No Brasil, bem como no resto do mundo, o uso da biomassa para geração de energia surgiu nos primórdios da humanidade, através do uso da madeira para cocção e aquecimento. Quando se fala em biomassa, entende-se o uso de bagaço de cana, lenha e carvão vegetal sendo as mais utilizadas. Para se tentar diminuir a exploração de madeiras de forma ilegal tem

se buscado alternativas utilizando resíduos de setores industriais, agroindustriais e domésticos.

A oferta interna de energia no Brasil em 2010 foi de 270 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo). Fontes renováveis de energia foram responsáveis por 45,4% deste montante, aonde 14,2% vieram de fontes hídricas e 31,2% a partir de biomassa, como mostrado na **Figura 3** (EPN, 2011). Em 2011, esse montante foi um pouco menor devido à menor oferta de etanol passando pra 44,1% (EPN, 2012).

A oferta de energia interna no Brasil deve crescer dos atuais 270 milhões de tep (tonelada equivalente de petróleo) para 440 milhões de tep entre 2010 e 2020, uma elevação de 62%. No período, a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira sobe de 45,4% para 51,7%, principalmente pelo aumento da contratação de energia eólica, gás e biomassa.

Figura 3 - Distribuição das fontes energéticas no Brasil em 2010.

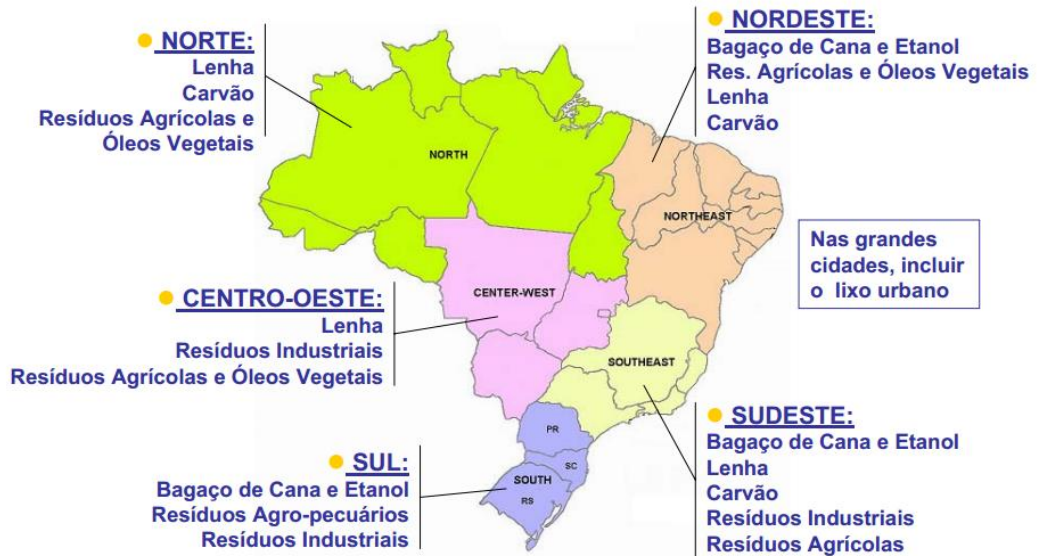


Nota: * Inclui lenha, carvão vegetal e outras renováveis

Fonte: EPN, 2011

Atualmente, as principais fontes de biomassa no Brasil são os resíduos gerados pela produção do álcool e açúcar, que são os resíduos agrícolas e agroindustriais. Na **Figura 4** é mostrado o que cada região do Brasil produz de resíduos

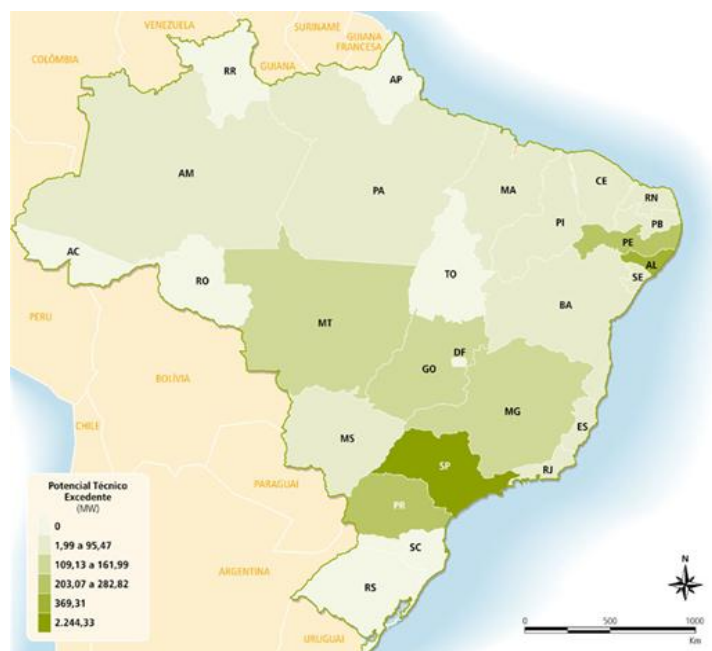
Figura 4 - Produção de resíduos em cada região do Brasil.



Fonte: Torres, 2009

Na **Figura 5**, observa-se que o setor sucroalcooleiro gera uma grande quantidade de excedente de energia, podendo utilizá-lo principalmente em sistemas de co-geração. Ao contrário da produção de madeira, o cultivo e o beneficiamento da cana são realizados em grandes e contínuas extensões e o aproveitamento de resíduos (bagaço, palha, etc.) é facilitado pela centralização dos processos de produção.

Figura 5 - Potencial de geração de excedente de energia elétrica no setor sucroalcooleiro.



Fonte: ANEEL, 2011

Em se tratando de resíduos agrícolas, toda essa produção gera resíduos que podem ser utilizados para outros fins, como, por exemplo, a palha deixada no campo auxilia no combate a pragas e ajuda a manter um bom nível de nutrientes no solo. A vinhaça, resíduo do processo produtivo, é utilizada como fertilizante, sendo disposto no solo de acordo com valores estabelecidos. Os resíduos sólidos gerados no processo de colheita podem ser visto como fonte de biomassa que pode ser beneficiado e utilizado para produção de energia (Guardabassi, 2006).

A biomassa de origem lenhosa é representada pelos resíduos da madeira, tais como galhos folhas e outros ou mesmo ela própria podendo ser queimada para se produzir o carvão vegetal ou então só a queima sem produzir carvão. O uso de biomassa florestal (lenha e carvão vegetal) corresponde a aproximadamente 12,9% de todas as fontes renováveis da matriz energética, representando a terceira maior fonte de energia nacional (Silva, 2009).

Os combustíveis de segunda geração produzidos por tecnologias modernas a partir de biomassa lignocelulósica a partir de resíduos florestais e agrícolas, floresta de rotação curta, etc. têm um balanço de carbono mais favorável, menores demandas de energia e maior potencial de produção (Buzetki, 2011).

3.3 Família *Arecaceae*

As plantas da família *Arecaceae* são de grande potencial paisagístico, embora as espécies brasileiras ainda sejam pouco exploradas. As espécies altaneiras são ideais para grandes espaços de parques, avenidas e jardins campestres, enquanto que os menores, comumente cultivadas à meia-sombra, são apropriados para vasos de interiores e jardins protegidos do sol pleno.

As espécies da família *Arecaceae*, plantas conhecidas como palmeiras, apresentam grande importância econômica e são exploradas comercialmente na produção de óleo, amido, palmito, cera e fibras. São também utilizadas como fonte de alimentos, bebidas e como matéria-prima para construção de barcos, pontes e casas. As plantas são utilizadas na ornamentação de praças, jardins e ambientes internos há vários séculos. As palmeiras são de ocorrência predominantemente tropical (Henderson, 1995), têm a capacidade de se estabelecer em diversos tipos de habitat, como mata de terra firme, matas periodicamente inundadas, cerrado e em ambientes degradados. No Brasil encontram-se extensamente distribuídas (Lorenzi, 2004).

As palmeiras são consideradas as aristocratas do reino vegetal, sendo denominadas pelos botânicos de “príncipes das florestas”, dado o porte altaneiro e elegante que as distingue facilmente de outras plantas. Esta família inclui representantes de morfologia variada. As raízes podem ser subterrâneas ou aéreas. Os estipes podem ser solitários ou cespitosos e raramente escandentes, aéreos ou subterrâneos. Quando aéreo, o estipe pode apresentar-se liso ou densamente coberto por espinhos. As folhas tanto curtas como longas apresentam-se de forma palmada, pinadas e inteiras com bainhas abertas ou fechadas e pecíolos curtos ou longos. (Oikos, 2012). Atualmente, registra-se a existência de aproximadamente 200 gêneros e 1500 espécies de palmeiras no mundo com distribuição em toda faixa de clima tropical.

3.4 *Syagrus coronata* (Martius) Beccari – Ouricuri

Syagrus coronata (Martius) Beccari (**Figura 6**), pertence à família *Arecaceae*, subfamília *Arecoideae*, tribo *Cocoeae*, subtribo *Butineae* (Noblick, 1991). É uma palmeira típica do semi-árido nordestino e a espécie tem uma nítida preferência pelas regiões secas e áridas das caatingas, abrangendo o norte de Minas Gerais, ocupando toda a porção oriental e central da Bahia, até o sul de Pernambuco, incluindo também os Estados de Sergipe e Alagoas (**Figura 7**), sendo conhecida por aricuri, nicuri, alicuri, licuri e ouricuri.

Figura 6 - Palmeira ouricuri.



Fonte: Santana, 2006

Figura 7- Distribuição geográfica de ouricuri no Brasil.



Fonte: Santana, 2006

O ouricuri é uma planta reconhecida na composição da caatinga. Mede de 8 m a 11 m, tendo folhas com mais ou menos 3 m de comprimento, pinadas de pecíolo longo com bainha invaginante, e seus folíolos, de coloração verde-escura, estão arranjados em vários planos (Lorenzi, 1992). Seu estipe é recoberto pela base das bainhas das folhas mais velhas (**Figura 8**), arranjadas numa sequência de espiral, que caem após certo período de tempo, deixando cicatrizes que formam um desenho muito atrativo.

Figura 8 - Detalhes da folha



Fonte: Autora, 2011

A palmeira é monóica, apresentando inflorescência interfoliar, muito ramificada, protegida por uma bráctea (espata) lenhosa, conhecida como cimba, de até 1 m de comprimento, com grande quantidade de flores amarelas pequenas com perianto não vistoso, flores masculinas longas e coriácea com seis estames. Flores femininas são mais curtas com ovário súpero, tricarpelar, trilobular, com um óvulo em cada lóculo, sendo, apenas um lóculo fértil (Crepaldi, 2001).

O fruto (**Figura 9**) é uma drupa com endosperma abundante, ovóide e carnosos, quando seco apresenta endoderme oleaginosa, em forma de cachos repetidos. Enquanto verdes, os frutos possuem o endosperma líquido, que se torna sólido no processo de amadurecimento, dando origem à amêndoa. Quando maduros estes apresentam uma coloração que varia do amarelo-claro ao laranja, dependendo não apenas do seu estágio de maturação, mas também dos indivíduos considerados.

Figura 9 - Cacho e sub-divisões do fruto



1. Amêndoa; 2. Endocarpo (parte lenhosa); 3. Mesocarpo (parte fibrosa-amilácea); 4. Epicarpo (fibrosa).

Fonte: Autora, 2011

Por ser uma espécie de ocorrência natural, os trabalhos sobre a sua fenologia são escassos, no entanto Bondar (1938), afirma que embora floresça e frutifique o ano todo, os meses de março, junho e julho apresentam maior frutificação, caracterizando o período da safra. Por outro lado, Lorenzi (1992), afirma que a safra do ouricuri ocorre no período de outubro a dezembro. Para Pitman (2000), a frutificação do ouricuri ocorre durante um longo período do ano, no entanto parece ter o seu pico de floração definido em cada área específica. Segundo o autor, este fenômeno está relacionado aos índices pluviométricos, visto que a chuva não cai igualmente sobre o semi-árido. Isto é importante porque garante a oferta de frutos durante todo o ano.

O ouricurizal apresenta grande importância nos municípios onde se encontra, pois representa fonte de renda para a população, no entanto a sua exploração ainda se dá de forma extrativista. Das suas folhas, são confeccionados sacolas, chapéus, vassouras, espanadores, etc. Estas também são usadas para retirada da cera do ouricuri utilizada na fabricação de papel carbono, graxa para sapatos, móveis e pintura de automóveis, sendo considerada equivalente a da carnaubeira (Ramalho, 2011). A amêndoa é consumida *in natura*, sendo também empregada para fabricação de cocadas, licores, e o leite de ouricuri, muito utilizado na culinária baiana. Da amêndoa também é extraído um óleo usado em culinária da população do semi-árido (BONDAR, 1938). Este contém 55 a 61% de óleo comestível, análogo ao coqueiro da praia (*Cocus nucifera* Lin) (Ramalho, 2011).

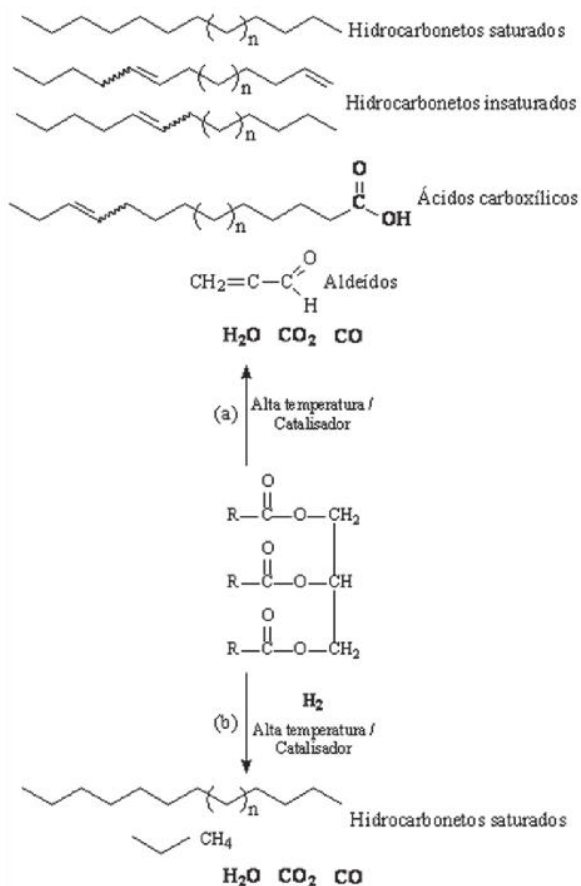
Do resíduo obtido com a extração do óleo, origina-se uma torta também comercializada que serve como alimento para animais.

3.5 Bio-óleo

A obtenção do bio-óleo a partir de óleos vegetais ou gorduras ocorre pelo processo de craqueamento térmico e/ou catalítico. Esse processo consiste na quebra das moléculas do óleo ou da gordura, levando à formação de uma mistura de hidrocarbonetos, semelhantes ao diesel convencional e de compostos oxigenados. Como possui propriedades físico-químicas muito próximas às do combustível fóssil, é possível seu uso direto em motores do ciclo diesel (Oliveira, 2008).

Quando o craqueamento ocorre na presença de moléculas de hidrogênio, ele é chamado de hidrocraqueamento e o produto final é conhecido como H-Bio. Esse processo tem como principal vantagem a eliminação completa de produtos oxigenados no final da reação, o que dificilmente acontece apenas por craqueamento. A eliminação total dos produtos oxigenados é vantajosa, principalmente pela diminuição do caráter ácido da mistura, que pode levar a problemas de corrosão no motor. Um esquema representando as reações de craqueamento e hidrocraqueamento pode ser observado na **Figura 10**.

Figura 10 - Reação de craqueamento.



Fonte: Oliveira, 2008

3.6. Biodiesel

Conforme legislação vigente, resolução ANP N° 14, de 11/05/2012, “o biodiesel combustível composto de alquil ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e/ou esterificação de matérias graxas, de gorduras de origem vegetal ou animal conforme a especificação contida no Regulamento Técnico”.

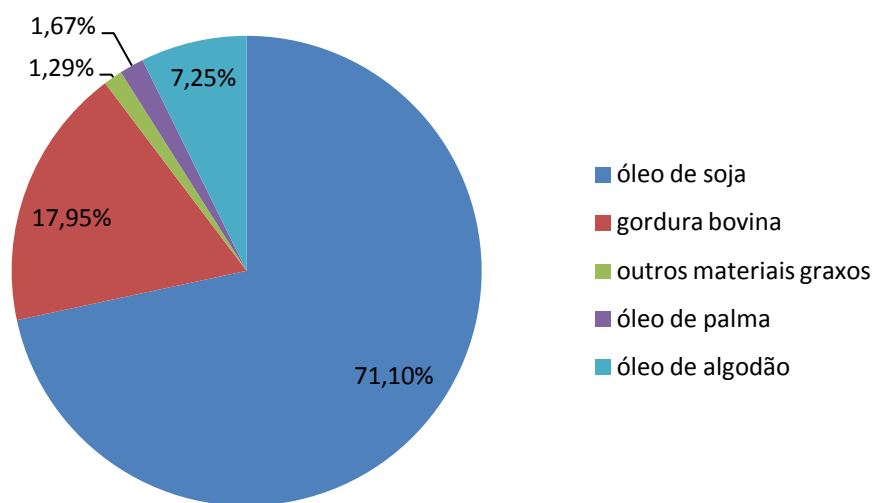
O biodiesel compõe, junto com o etanol, uma importante oferta para o segmento de combustíveis. Ambos são denominados de biocombustíveis por serem derivados de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal que pode ser utilizada para a produção de energia), menos poluentes e renováveis.

Visando substituir o uso do óleo diesel, o Brasil vem incorporando o biodiesel na matriz energética nacional através do Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiobiodiesel), criado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia por meio da portaria 702, em outubro de 2002 (Brasil, 2002), e da Medida Provisória 214, de 13 de

setembro de 2004, convertida na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (Brasil, 2005). O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) estabeleceu que, a partir de 2008, o óleo diesel seria comercializado com a adição de 3% de biodiesel (Brasil, 2008), passando para 5%, depois de 2013 (Brasil, 2005). No entanto, desde julho de 2008, o percentual mínimo obrigatório de biodiesel adicionado ao óleo diesel já passou a ser 4% e, aumentou para 5% em 2010 (Brasil, 2009).

O biodiesel pode ser produzido de uma grande variedade de matérias-primas. Estas matérias-primas incluem a maioria dos óleos vegetais (por exemplo, os óleos de soja, algodão, palma, amendoim, colza/canola, girassol, açafrão, coco) e gorduras de origem animal (usualmente sebo), bem como óleos de descarte (por exemplo, óleos usados em frituras) (Knothe, 2006). Na **Figura 11**, são apresentadas algumas matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil.

Figura 11 - Matérias - primas utilizadas para produção de biodiesel.



Fonte: ANP, 2011

Segundo os autores, Wang, 2000 e Oliveira e Costa, 2002, pode-se citar como vantagens do uso do biodiesel:

- Ausência de enxofre e compostos aromáticos. Desta forma, nos proporcionam uma combustão limpa, e sem a formação de SO₂ (gás que provoca a chuva ácida), e de compostos cancerígenos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos);

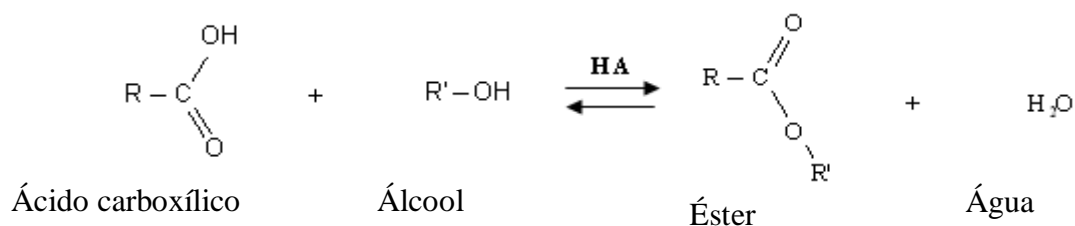
- Possui teor médio de oxigênio em torno de 11% e composição química homogênea, favorecendo uma combustão mais completa, eficiente, além de expelir menos resíduos para a atmosfera;
- Possui maior ponto de fulgor quando comparado ao diesel convencional, de modo que, em condições normais de transporte, manuseio e armazenamento, não é inflamável, proporcionando uma maior segurança;
- Apresenta expressiva melhora na lubrificação do motor, proporcionando maior longevidade do mesmo e seus entornos;
- Pode ser considerado biodegradável, e não tóxico.

E, como desvantagens:

- O biodiesel possui um menor poder calorífico. Todavia, esta desvantagem é bastante pequena em torno de 5% em relação ao diesel convencional;
- Cristalização em baixas temperaturas: Em regiões de clima muito frio, a viscosidade do biodiesel aumenta bastante. Assim como o diesel, podem ocorrer formações de pequenos cristais, que se unem e impedem o bom funcionamento do motor. Porém, existem diversas precauções que podem ser tomadas para contornar este problema. Como por exemplo, o uso de aditivo ou de mistura biodiesel/diesel mineral, dentre outros;

3.7 Processo de obtenção de biodiesel via reações de esterificação e transesterificação

A esterificação consiste na reação entre os ácidos carboxílicos, encontrados nos óleos ou gorduras, com metanol ou etanol, na presença de um catalisador, para formar ésteres metílicos ou etílicos, respectivamente, e água. A reação geral de esterificação pode ser observada na **Figura 12**.

Figura 12 - Reação de esterificação (direta) e hidrólise (inversa)

Fonte: Leung, 2010

A transesterificação consiste na reação de triacilglicerídeos com alcoóis de cadeia curtas em presença de um catalisador, dando origem a mono ésteres de ácidos graxos e glicerol.

A transesterificação (ou alcoólise) é o principal processo utilizado atualmente para a produção do biodiesel no Brasil e no mundo, por apresentar fatores técnicos e econômicos viáveis (Leung, 2010).

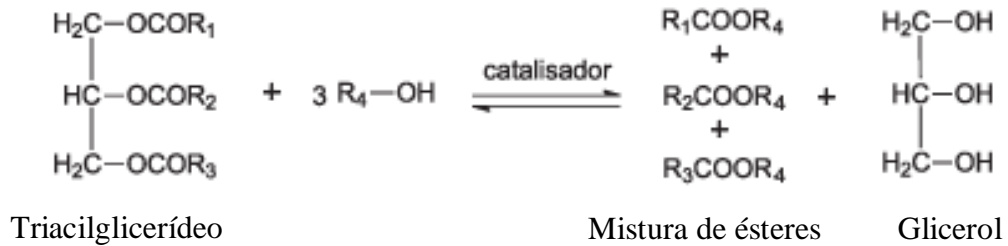
A transesterificação é um processo químico que tem por objetivo modificar a estrutura do óleo vegetal, tornando-a compatível quimicamente com a do óleo diesel (propriedades físico-químicas semelhantes). Por outro lado, pode-se perceber que a grande vantagem do óleo ou gordura transesterificado é a possibilidade de substituir parcialmente o óleo diesel sem nenhuma alteração nas estruturas do motor (Conceição, 2005). Este processo é utilizado para reduzir a viscosidade dos triacilglicerídeos melhorando suas propriedades físico-químicas.

A transesterificação, como mostra a **Figura 13**, ocorre através da reação de um triacilglicerídeo com um álcool, geralmente de cadeia curta, na presença de um catalisador (podendo ser um ácido ou uma base forte), produzindo uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos e glicerol, sendo que a mistura de ésteres é o que se denomina biodiesel. Sua estequiometria requer um mol de triglicerídeo para 3 mols de álcool, mas devido ao fato desta reação ser reversível, um excesso de álcool se faz necessário para promover um aumento no rendimento da produção dos éteres alquílicos.

Nesta reação é promovida a quebra da molécula do triacilglicerídeo, por uma sequência de três reações reversíveis e consecutivas, em que os monoacilglicerídeos e os diacilglicerídeos são os intermediários. Inicialmente, a molécula de triacilglicerídeo é convertida em diacilglicerídeo, depois em monoglicerídeo e, finalmente, em glicerol, produzindo um mol de éster a cada etapa reacional e liberando a glicerina como co-produto,

que possui um de alto valor agregado, com importante aplicação comercial, por exemplo: nas indústrias químicas, farmacêuticas e de cosméticos (Zhang, 2003).

Figura 13 - Transesterificação de triacilglicerídeos, onde R', R'' e R''' representam à cadeia hidrocarbônica dos ácidos graxos e R, a cadeia hidrocarbônica do álcool reagente.

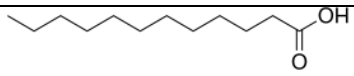
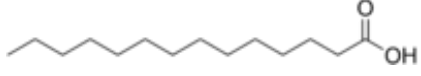
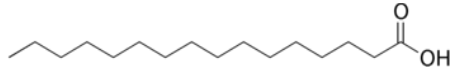
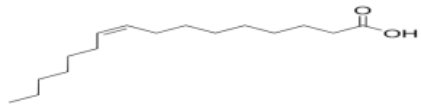
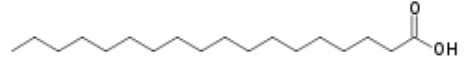
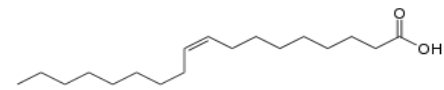
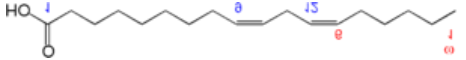

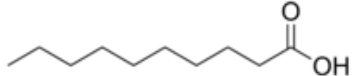
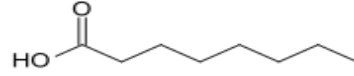
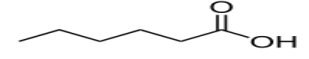


Fonte: Leung, 2010

Na **Tabela 1** estão alguns dos ácidos graxos encontrados nas composições de óleos vegetais utilizados em reações de transesterificação e/ou esterificação. Os ácidos graxos presentes em óleos e gordura são constituídos, geralmente, por ácidos carboxílicos que contêm de 4 a 30 átomos de carbono e podem ser saturados ou insaturados.

Os ésteres alquílicos de ácidos graxos saturados (láurico, palmítico, esteárico) como os poli-insaturados (linoléico, linolênico) possuem alguns inconvenientes, uma vez que são pouco resistentes à oxidação. Porém, são mais facilmente degradados desaparecendo do meio ambiente em períodos de tempo mais curtos, sendo mais vantajosos do ponto de vista ambiental.

Tabela 1 - Ácidos graxos presentes em óleos vegetais

Ácido graxo	Fórmula química	Estrutura química
Láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	
Mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	
Palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	
Palmitoléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Estearíco	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	
Oléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Linoléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Linolênico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
Cáprico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	
Caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	
Capróico	$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{COOH}$	

Fonte: Leung, 2010

Entre os principais alcoóis que podem ser utilizados nessa reação estão metanol, etanol, propanol e butanol, porém os alcoóis de baixo peso molecular (metanol e etanol), frequentemente são preferidos em relação aos demais. Nesta competição, o metanol leva vantagem em relação ao etanol, devido ao seu menor preço no mercado internacional e por ter maior reatividade, devido a sua menor cadeia e maior polaridade (Fukuda, 2001).

Além disso, por possuir uma cadeia mais curta e maior polaridade, seu uso facilita no processo da separação entre os ésteres e a glicerina. Já o etanol, dispõe de uma cadeia maior que o metanol, tornando os ésteres etílicos mais miscíveis na glicerina, prejudicando o processo de separação das fases. Por outro lado, possuir um carbono a mais na molécula, os ésteres etílicos elevariam o número de cetano, favorecendo uma melhor combustão nos motores a diesel.

Por sua vez, o metanol em sua grande parte é proveniente de fontes fósseis, por meio de gás de síntese, a partir do metano. E em quantidades menores, pode ser processado por destilação seca da madeira. No entanto, ressalta-se que o metanol tem uma toxicidade muito elevada, trazendo malefícios à saúde tais como a cegueira e o câncer. Já o etanol apresenta a vantagem de não ser tóxico, biodegradável e ser produzido a partir de fontes renováveis.

O Brasil não é auto-suficiente na produção de metanol, mas é em etanol devido à grande área disponível para a produção de cana-de-açúcar e oleaginosas. (Fertibom, 2012).

4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As amostras de *Syagrus coronata* (ouricuri), folhas, galhos e coquinhos, foram coletadas no Condomínio Aldebaran/Maceió/Alagoas (09° 36' 15,50" Sul e 35° 44' 30,00" Oeste) nos meses de junho e julho de 2011 e, no município de São José da Tapera/Alagoas (9° 32' 38" Sul, 37° 23' 3" Oeste) no mês de dezembro de 2011.

Foi realizado um estudo comparativo das análises devido à época de colheita ter sido diferente nos municípios. Após os frutos, galhos e folhas terem secado ao sol por um período de 10 dias, foram separadas as seguintes partes do fruto: epicarpo, endocarpo e amêndoa e, amostra de uma mistura de mesocarpo, que não foi seca. Em seguida as amostras de folhas, galhos, epicarpo foram trituradas com auxílio de uma máquina forrageira e, a partir daí foram submetidas às análises. É importante ressaltar que as amostras de endocarpo, parte dura, e mistura de mesocarpo, não foram trituradas por se assemelhar a uma madeira e por a umidade muito elevada, respectivamente.

As análises físico-químicas foram realizadas para verificar a possibilidade das partes do ouricuri ser uma biomassa viável em substituição à energia oriunda de fontes não renováveis. As análises realizadas foram: granulometria, determinação do teor de umidade da amostra, determinação do teor de cinzas, determinação da densidade natural da amostra, determinação do poder calorífico superior e inferior das amostras. As análises foram realizadas no mínimo em triplicas para poder determinar o erro associado a cada análise e, as amostras foram analisadas com e sem compactação.

Para a obtenção da biomassa compactada, foi utilizado um pastilhador, como mostrado na **Figura 14**, onde ao ser inserido uma determinada massa de amostra e aplicado uma pressão de 50kgf/m² por um período de cinco minutos se obteve as amostras em formato compactado.

Figura 14 - Sistema utilizado em laboratório para fazer a compactação das amostras.



Fonte: Autora, 2013

4.1 Granulometria

O procedimento utilizado para caracterizar o tamanho das partículas chama-se granulometria. Este procedimento consiste no peneiramento de uma amostra, gerando informações sobre sua uniformidade.

Para a análise da granulometria da amostra, realizado de acordo com a norma NBR 6923, utilizou-se um equipamento vibrador de peneiras com capacidade para 500 g. Na parte superior deste vibrador de peneiras existe uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração. Utilizou-se uma série de peneiras com tamanhos de 20, 40, 70, 140 e 270 mesh, como mostrado na **Figura 15**.

Figura 15 - Equipamento vibrador de peneiras.



Fonte: Autora, 2013

4.2. Umidade

A determinação do teor de umidade do resíduo (%) foi realizada segundo a norma ABNT NBR 8112, onde pesou-se aproximadamente 1,0 g da amostra em um cadinho previamente pesado. Em seguida colocou-o em estufa de ventilação (**Figura 16**) a 105 ± 5 °C e lá permaneceram até que a massa da amostra permaneceu constante.

A equação 1 é utilizada para correlacionar os dados e, é descrita como:

$$\omega = \left(\frac{m1 - m2}{m1} \right) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde: ω = umidade

$m1$ – massa inicial da amostra

$m2$ – massa final da amostra

Figura 16 - Estufa de ventilação utilizada para medir a umidade das amostras



Fonte: Autora, 2013

4.3. Cinzas

A determinação do teor de cinzas (%) obedeceu a norma ABNT 8112, onde pesou-se 1,0 g da amostra em um cadinho seco. Em seguida colocou-o em uma mufla (**Figura 17**) previamente aquecida a 700 ± 10 °C. Deixou-se o cadinho na mufla até que o resíduo queimasse completamente, até peso constante.

O teor de cinzas é determinado utilizando-se a equação 2 a seguir:

$$T_{cinzas} = \left(\frac{m1 - m2}{m1} \right) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

onde: T_{cinzas} = teor de cinzas

$m1$ – massa da amostra antes do experimento

$m2$ – massa da amostra após o experimento

Figura 17 - Mufla utilizada para determinar o teor de cinzas



Fonte: Autora, 2013

4.4. Densidade

Para a determinação da densidade natural do resíduo (kg/m^3), utilizou-se a norma NBR 6922, onde pesou-se 5,0 g da amostra em um balão volumétrico de 250 mL. Em seguida, completou-se com água destilada e sua massa foi medida.

A densidade é determinada pela equação 3 a seguir:

$$Ma = Va = Mt + Mb - Mam$$

$$Vam = Vb - Va$$

Equação 3

$$\rho = \frac{Mam}{Vam}$$

onde: M_a – massa de água

V_a – volume de água

M_t – massa total (massa de amostra + massa do balão + volume de água)

M_b – massa do balão no inicial

M_{am} – massa da amostra

V_{am} – volume de amostra

V_b – volume do balão

ρ - densidade

4.5 - Poder Calorífico Superior e Inferior

Por fim, foi determinado o poder calorífico (J/g) do resíduo, pela norma técnica ABNT 8633. O poder calorífico foi determinado usando a bomba calorimétrica IKA-C200, **Figura 18**, no qual uma pequena quantidade de amostra foi pesada em um cadinho específico (componente da bomba calorimétrica). Essa câmara de combustão de aço inox, capaz de resistir a grandes pressões, tem válvula para a admissão de oxigênio e também contatos elétricos para provocar a combustão da amostra. O calor liberado na combustão é absorvido pelo conteúdo do calorímetro e causa a elevação da temperatura da água. O poder calorífico inferior (PCI – J/g) é uma base mais realista para a comparação entre combustíveis, pois decorre do fato do hidrogênio contido no combustível formar vapor d'água ao queimar-se, diminuindo a energia térmica disponível.

O valor do poder calorífico inferior é determinado fazendo-se uma correlação pela equação 4:

$$PCI = PCS - 2440 [(9 \times 0,065) + U] \quad \text{Equação 4}$$

onde: PCS = valor do poder calorífico superior obtido pela bomba calorimétrica;

U = teor de umidade do resíduo

Figura 18 - Bomba calorimétrica IKA C-200



Fonte: Autora, 2013

4.6 Extração do óleo e azeite de ouricuri

O óleo foi extraído das amostras da amêndoa do ouricuri oriundas do município de São José da Tapera e Maceió, no estado de Alagoas. Após serem despulpados, para retirada do epicarpo, os coquinhos foram expostos ao sol por um período de 10 dias para um bom desprendimento da amêndoa do endocarpo, para serem quebradas. As amêndoas foram colocadas em estufa à 60 °C por 24 horas para retirada da umidade, que quando muito alta diminui o rendimento em óleo.

Utilizou-se prensa contínua modelo OEKOTEC, tipo CA59G, **Figura 19** e, prensa hidráulica modelo TE-098, da Tecnal, **Figura 20**.

Figura 19 - Prensa contínua



Fonte: Autora, 2013

Figura 20 - Prensa hidráulica



Fonte: Autora, 2013

Para a extração do azeite, foi utilizada a polpa, o mesocarpo e o epicarpo obtidos no processo de despulpamento do coquinho do ouricuri. Ambos foram colocados em estufa à 60 °C, por um período de 3 dias para a retirada da água que é utilizada no processo para dar uma eficiência maior a despoldadeira. Em seguida a extração foi realizada num aparelho extrator Soxhlet por 6 horas, utilizando *n*-hexano como solvente.

4.7 Caracterização do óleo e biodiesel de ouricuri

A caracterização físico-química do óleo foi realizada por metodologias oficiais (A.O.C.S., 1993) e Normas do Instituto Adolfo Lutz (1985).

A viscosidade é definida como a resistência do líquido ao fluxo. Refere-se para a fluidez do óleo, e é determinada através da medição da quantidade de tempo necessário para que uma dada medida de óleo passe através um orifício de um tamanho especificado. A viscosidade cinemática é a mais importante propriedade de biodiesel, uma vez que afeta a operação de equipamentos de injeção de combustível, especialmente em temperaturas baixas quando um aumento da viscosidade afeta a fluidez do combustível. Além disso, a viscosidade elevada pode levar a formação de fuligem e depósitos no motor devido a atomização do combustível insuficiente. Foi mostrado que a viscosidade de ésteres metílicos/etílicos de óleo diminui acentuadamente depois processos de transesterificação de biodiesel. A viscosidade cinemática em biodiesel é determinada usando as normas ASTM D445 e EM ISO3104. (Atabani, 2013)

A densidade é a relação entre a massa e volume de um líquido ou um sólido e pode ser expresso em unidades de gramas por litro, (g / L). A densidade do óleo diesel é importante porque fornece uma indicação do atraso entre a injeção e combustão do combustível de um motor diesel (qualidade da ignição), e a energia por unidade de massa (energia específica). Isto pode influenciar a eficiência da atomização de combustível para sistemas de ar de combustão menor. As normas ASTM D1298 e ENISO3675/12185 são utilizadas para medir a densidade do biodiesel. (Atabani, 2013)

O poder calorífico é um parâmetro importante na seleção de um combustível. O poder calorífico do biodiesel é inferior de diesel por causa de seu alto teor de oxigênio.

A determinação da umidade é um dos parâmetros legais para a avaliação da qualidade de óleos e é determinada a 105 °C. O método consistiu em pesar cerca de 2g da amostra em cápsula de porcelana, previamente tarada, e aquecer durante uma hora em estufa a 105°C.

Após a mostra é resfriada em dessecador até temperatura ambiente, e pesada até massa constante.

O índice de acidez é definido como a massa em mg de hidróxido de sódio necessário para neutralizar um grama da amostra. O método consistiu em pesar 2g da amostra em frasco erlenmeyer de 125 mL. Adicionou 25 mL de solução de éter:etanol (2:1). Titulou com solução padrão de hidróxido de sódio $0,1 \text{ molL}^{-1}$, na presença de solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, como indicador da titulação.

A estabilidade oxidativa está diretamente relacionada com o grau de insaturação dos alquil ésteres presentes, como também, com a posição das duplas ligações na cadeia carbônica. Utilizou-se o método Rancimat como padrão na norma EN 14214. Neste método, uma amostra do óleo/biodiesel é mantida em um vaso de reação, a temperatura de $110 \text{ }^\circ\text{C}$ e sob um fluxo de ar. Neste momento começam a se formar os peróxidos, que são os principais produtos formados na primeira etapa de oxidação do óleo. Com o processo de oxidação continuada, são formados compostos orgânicos voláteis, dentre estes, ácidos orgânicos de baixa massa molecular. Estes compostos são transportados pelo fluxo de ar para outro recipiente contendo água destilada, onde a presença dos ácidos orgânicos é então detectada pelo aumento da condutividade no sistema. O tempo decorrente até a detecção dos ácidos orgânicos é denominado de período de indução.

A tendência de formação de depósitos nas câmaras de combustão pode ser avaliada através da determinação dos resíduos de carbono. Além dos sabões e dos glicerídeos residuais, contribuem para os valores de resíduo de carbono a água livre, os ácidos graxos livres, o resíduo de catalisadores e os insaponificáveis oriundos da matéria prima. Neste ensaio, a amostra é evaporada e queimada e o resíduo final é pesado. O método de análise adotado pelas normas brasileira e americana é o ASTM D4530, onde o ensaio é realizado em 100% da amostra.

A composição de ácidos graxos foi determinada por cromatografia gasosa (A.O.C.S., 1993). Os produtos obtidos da reação de transesterificação foram analisados por cromatografia gasosa, empregando-se um instrumento SHIMADZU CG 2010, equipado com um sistema de injeção capilar operando a $240 \text{ }^\circ\text{C}$, razão de split de 80:1 e volume de amostra de $1 \mu\text{L}$. Foi empregada uma coluna capilar com 30 m de comprimento, $0,25 \text{ mm}$ de diâmetro interno e filme com $0,25 \mu\text{m}$ de espessura. A programação da temperatura foi: temperatura inicial: $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 min); aquecimento de 50°C até $180 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de $15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$; aquecimento de $180 \text{ }^\circ\text{C}$ até $230 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de $7 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$; aquecimento de $230 \text{ }^\circ\text{C}$ até $340 \text{ }^\circ\text{C}$, a uma taxa de $30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. O equipamento estava equipado com um detector de ionização

de chama (FID) operando a 250 °C. O gás Hidrogênio, de alta pureza (99,95 %) foi usado como gás de arraste. Os ácidos graxos padrões foram adquiridos comercialmente. A identificação dos ácidos graxos do óleo foi realizada comparando-se os tempos de retenção com os padrões.

4.8 Reação de transesterificação via catálise básica por rota metílica e etílica

As reações de transesterificação foram realizadas em reator de vidro de 2,0 L com agitação mecânica, condensador e sistema de aquecimento – como mostrado na **Figura 21**, na proporção molar de 6:1:0,2 para o álcool:óleo:catalisador. O tempo reacional e a temperatura foram fixos em 3 horas e 70 °C, respectivamente.

Utilizou-se como catalisador hidróxido de sódio (NaOH) e dois tipos de alcoóis, metanol e etanol.

Em seguida, as amostras foram colocadas em um funil de decantação de 2,0 L para separação dos produtos de reação. O biodiesel foi neutralizado com ácido fosfórico 5% (v/v) e lavado com salmoura até alcançar o pH 7,0.

Após esse processo, os biodieseis seguiram para serem evaporados, em uma temperatura de 100 °C por 20 min com a finalidade de retirar resíduos de álcool e água presentes. Depois adicionou-se, em cada biodiesel obtido, sulfato de sódio anidro, para remover qualquer traço de água presente. Em seguida, os ésteres foram filtrados e analisados. Todas as amostras foram estocadas a baixa temperatura.

Figura 21 - Reator de vidro



Fonte: Autora, 2013

Após o processo de purificação das reações de transesterificação, passa-se a realizar as análises para a confirmação que o biodiesel obtido atende a Resolução ANP Nº 14, de 11/05/2012.

O aspecto do biodiesel é um parâmetro considerado apenas na Resolução ANP 14/12. Trata-se de uma análise preliminar, onde se procura verificar a presença de impurezas que possam ser identificadas visualmente, como materiais em suspensão, sedimentos ou mesmo turvação na amostra de biodiesel, que pode ser decorrente da presença de água. Na ausência destes contaminantes, o biodiesel é classificado como límpido e isento de impurezas. As demais análises foram descritas acima.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As amostras de ouricuri estudadas foram coletadas em dois locais diferentes. Portanto, algumas considerações devem ser feitas:

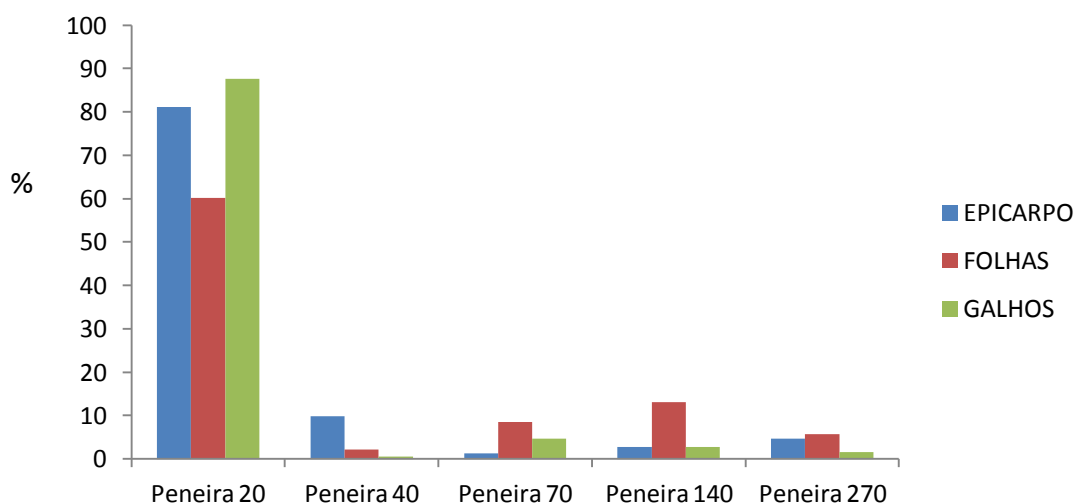
- O Condomínio Aldebaran/Maceió/Alagoas, tem um projeto de irrigação diário, logo, os exemplares oriundos desta localidade são bem irrigados, sem contar que houve um período considerável de chuva nos meses em que as amostras foram coletadas.
- O município de São José da Tapera/Alagoas, fica localizado no alto sertão do Estado, a área onde foram coletadas as amostras não é irrigada e nesse período não houve chuvas em quantidade.

5.1 Granulometria

As análises granulométricas consistem na determinação das dimensões das partículas e/ou no estudo de sua distribuição, quer pelo peso de cada classe (método utilizado), quer pelo seu volume, quer ainda pelo número de partículas integradas em cada classe.

Para as amostras do epicarpo, folha e galhos do ouricuri do município de Maceió foram encontrados os seguintes valores dispostos em forma de gráfico na **Figura 22**.

Figura 22 - Resultados de granulometria para epicarpo, galhos e folhas



Fonte: Autora, 2013

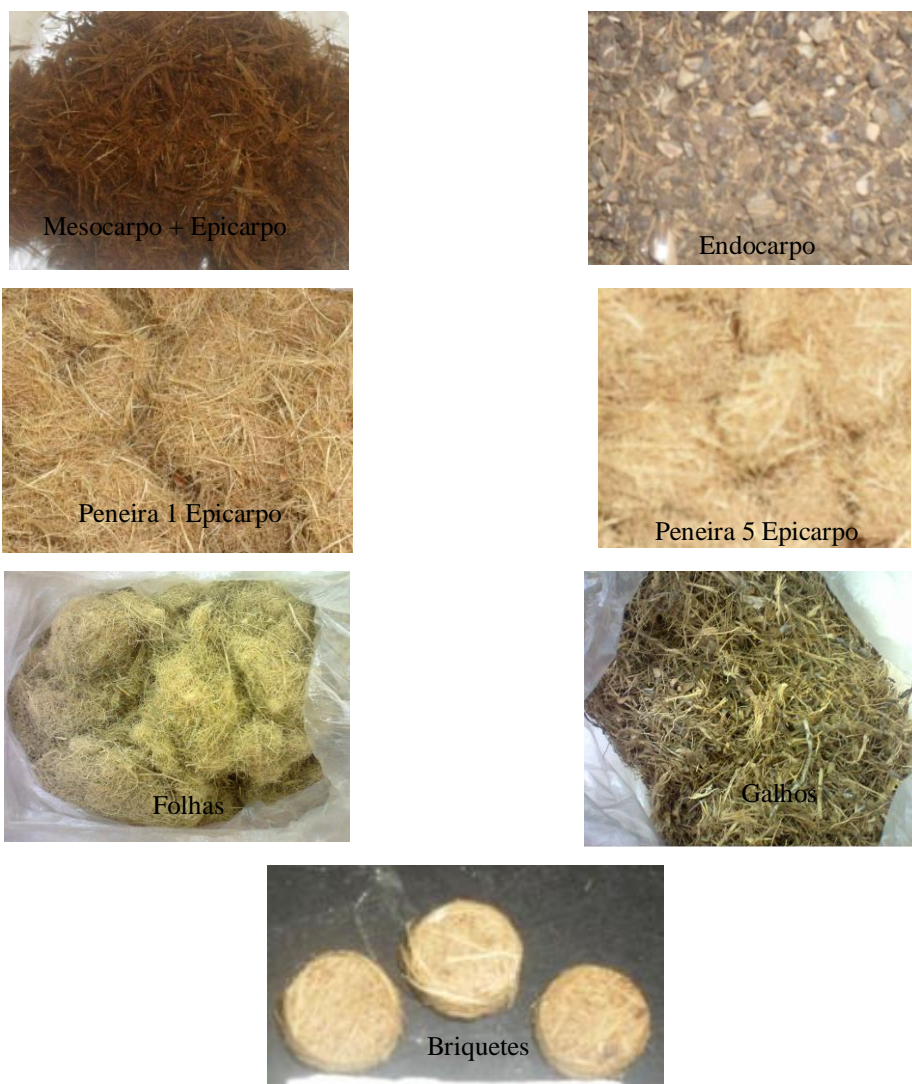
Após a análise granulométrica, observou-se que houve perdas na realização do processo (devido haver espaços entre a primeira peneira e a tampa do equipamento). Obteve-

se um aproveitamento de 99,6% da biomassa de epicarpo, para a biomassa das folhas o aproveitamento foi da ordem de 89,6% e, para a biomassa dos galhos o aproveitamento foi de 97%.

As amostras utilizadas no estudo foram as que se obtiveram um aproveitamento maior, com menor número de impurezas, como areia e pequenos pedregulhos – peneiras de 20 mesh; excetuando-se a biomassa do epicarpo onde se trabalhou também com a peneira de 270 mesh com caráter de comparação.

Realizou-se apenas a granulometria das amostras do município de Maceió devido à influência do tamanho das partículas nas análises serem muito pequenas. Na **Figura 23**, consta o aspecto das amostras que foram testadas nos experimentos.

Figura 23 - Aspectos das amostras testadas nos experimentos



Fonte: Autora, 2013

5.2 Umidade

Os valores para umidade são importantes, pois indicam o potencial da biomassa para queima. Se este valor for muito elevado será necessário uma maior quantidade calor para queimá-la diminuindo o potencial de queima da amostra.

Para o teor de umidade das amostras testadas, sem compactação e com compactação, observaram-se os resultados descritos na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Resultados obtidos para umidade das amostras

Material	Tipo	Umidade (%)
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	sem compactação	13,63 % ± 0,09 %
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	com compactação	12,38 % ± 0,39 %
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	sem compactação	16,37 % ± 0,67 %
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	com compactação	13,07 % ± 0,11 %
Endocarpo (MCZ)	sem compactação	8,82 % ± 0,14%
Mesocarpo (MCZ)	sem compactação	20,56 % ± 0,01 %
Folhas (MCZ)	sem compactação	9,96 % ± 0,12 %
Folhas (MCZ)	com compactação	8,43% ± 0,27 %
Galhos (MCZ)	sem compactação	11,62 % ± 0,5 %
Galhos (MCZ)	com compactação	11,22% ± 0,77 %
Epicarpo (SJT)	sem compactação	12,93% ± 0,23 %
Epicarpo (SJT)	com compactação	9,23% ± 0,11 %
Mesocarpo (SJT)	sem compactação	31,22% ± 0,79 %
Mesocarpo/seco (SJT)	sem compactação	11,83% ± 0,04 %
Endocarpo (SJT)	sem compactação	9,43% ± 0,42 %
Torta	sem compactação	5,68% ± 0,14 %

Fonte: Autora, 2013

Segundo Quirino (2004), o percentual de umidade em matéria seca deve ser em torno dos 30%. O valor observado para a mistura de mesocarpo - SJT é explicado devido ao fato desse material não ter sido seco. Após ter passado pelo processo de secagem, este valor ficou abaixo do observado para a mesma amostra do município de Maceió. As amostras de endocarpo e mistura de mesocarpo não foram compactadas devido ao fato de ser necessário o uso de um emulsificante para poder deixá-las compactadas.

Segundo Souza (2011), biomassas como casca de mandioca, casca de feijão, sabugo do milho e casca de coco, apresentam valores de umidade de 12,13%, 12,50%, 9,74 e 41,92%, respectivamente, o que mostra que a umidade da biomassa proveniente do ouricuri está comparável com a literatura.

Os aspectos das amostras na determinação do teor de umidade podem ser vistos na **Figura 24**.

Figura 24 - Aspectos das amostras utilizadas na determinação de umidade



Fonte: Autora, 2013

Observou-se que os valores para umidade das amostras com compactação estão menores que para sem compactação, esta informação é aceitável e explicada porque ao se aplicar a pressão para compactação das amostras ocorre aquecimento no briquetador ocasionando perda de umidade.

Portanto, é importante salientar que o teor de umidade da biomassa a ser usada como combustível seja reduzido, diminuindo assim o manejo e o custo de transporte, agregando valor ao combustível.

5.3 Cinzas

Os valores para teores de cinzas das amostras testadas, sem e com compactação, estão apresentados na **Tabela 3**.

A sua determinação é de fundamental importância para a caracterização da biomassa, pois indica a porcentagem de material inerte, que não produz calor.

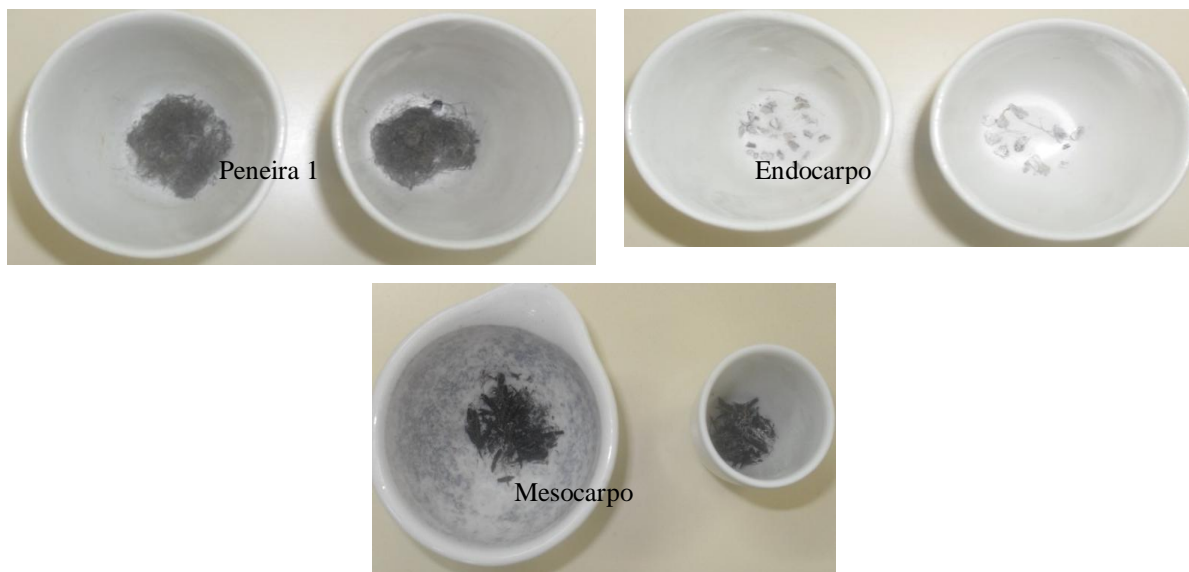
Segundo Souza (2011) o teor de cinzas gerado por amostras de folhas de sabiá sem compactação (14,72%) e caule do sabiá (13,45%) são altos, gerando grande quantidade de materiais particulados.

Tabela 3 - Resultados dos teores de cinzas

Material	Tipo	Teor de Cinzas (%)
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	sem compactação	4,23 % ± 0,16 %
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	com compactação	4,44 % ± 0,32 %
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	sem compactação	5,2 % ± 0,3 %
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	com compactação	4,71 % ± 0,05 %
Endocarpo (MCZ)	sem compactação	0,46 % ± 0,02%
Mesocarpo (MCZ)	sem compactação	5,72 % ± 0,06 %
Folhas (MCZ)	sem compactação	5,26 % ± 0,07 %
Folhas (MCZ)	com compactação	5,73% ± 0,46 %
Galhos (MCZ)	sem compactação	6,7 % ± 0,6 %
Galhos (MCZ)	com compactação	6,07%± 0,11 %
Epicarpo (SJT)	sem compactação	2,96%± 0,11 %
Epicarpo (SJT)	com compactação	2,93%± 0,15 %
Mesocarpo (SJT)	sem compactação	8,89%± 0,26 %
Mesocarpo/seco (SJT)	sem compactação	8,12%± 0,61 %
Endocarpo (SJT)	sem compactação	0,69%± 0,03 %
Torta	sem compactação	2,93%± 0,06 %

Fonte: Autora, 2013

As amostras analisadas, tanto com a compactação quanto sem, mostraram valores satisfatórios variando de 2,93 a 8,89%. Já as amostras de endocarpo mostraram valores da ordem de 0,46 e 0,69% sendo bastante expressivos, já que esta parte é um tipo de madeira. As amostras em estado de cinzas podem ser visualizadas na **Figura 25**.

Figura 25 - Amostras testadas em estado de cinzas

Fonte: Autora, 2013

Uma alternativa viável quanto ao emprego das cinzas geradas a partir da queima desses resíduos sólidos seria sua utilização como fertilizante. A aplicabilidade desse resíduo torna-se mais propícia, ao se avaliar que a maior parte dos solos em uso nos plantios com fins industriais foi, originalmente, ocupada por vegetação de cerrados, de baixa fertilidade. Além disso, deve-se considerar também a crescente elevação dos custos de aquisição e aplicação de fertilizantes minerais, que levam os silvicultores a procurar meios alternativos de manejo florestal.

5.4 Densidade

As análises de densidade são importantes para definir condições de transporte e armazenamento das biomassas. Encontrou-se para as amostras, com e sem compactação, os valores mostrados na **Tabela 4**.

Uma biomassa mais compactada diminui os gastos com transporte e armazenamento, porém deve-se levar em conta sempre a questão custo-benefício. Para o pequeno produtor pode ser inviável a compactação das amostras devido se considerar o gasto financeiro para sua compactação, pensando-se em cooperativas de pequenos produtores o processo de compactação torna-se viável, pois o gasto que seria de um único produtor passa ser dividido com mais produtores, e o lucro com a venda/consumo de biomassa compactada é logo sentido.

Tabela 4 - Resultados para a análise de densidade

Material	Tipo	Densidade (kg/m ³)
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	sem compactação	870 ± 40
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	com compactação	1260 ± 180
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	sem compactação	900 ± 10
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	com compactação	1220 ± 370
Endocarpo (MCZ)	sem compactação	850 ± 30
Mesocarpo (MCZ)	sem compactação	950 ± 70
Folhas (MCZ)	sem compactação	790 ± 90
Folhas (MCZ)	com compactação	830 ± 50
Galhos (MCZ)	sem compactação	660 ± 50
Galhos (MCZ)	com compactação	800 ± 30
Epicarpo (SJT)	sem compactação	720 ± 10
Epicarpo (SJT)	com compactação	1090 ± 130
Mesocarpo (SJT)	sem compactação	710 ± 40
Mesocarpo/seco (SJT)	sem compactação	790 ± 80
Endocarpo (SJT)	sem compactação	850 ± 70
Torta	sem compactação	1770± 17

Fonte: Autora, 2013

A maior consideração a ser feita é que se observa o aumento da densidade para amostras compactadas e isto é aceitável devido o fato de se agregar maior quantidade de massa na compactação e, de certa forma aumentando a concentração energética.

5.5 Poder calorífico superior e inferior

Por fim, determinou-se o poder calorífico superior das amostras (J/g), com e sem compactação, que tem por objetivo determinar a quantidade de calor liberado por grama de biomassa. Os valores encontrados estão dispostos na **Tabela 5**. Não se obteve êxito na queima da amostra Mesocarpo+Epicarpo (SJT) sem compactação, devido sua umidade ser muito elevada. Após ter passado pelo processo de secagem foi possível determinar o poder calorífico superior.

Cabe salientar que o poder calorífico obtido constitui considerável indicador do potencial energético da biomassa, tal fator depende da composição química do material, da

sua qualidade, e da sua natureza que pode variar até mesmo em uma única amostra de biomassa.

Se considerarmos valores propostos por Souza (2011), para Eucalipto (16581 J/g), Cajueiro (15607 J/g) e Algaroba (13253 J/g), por exemplo, as biomassas provenientes do ouricuri têm a sua potencialidade comprovada.

Tabela 5 - Resultados de poder calorífico superior das partes do ouricuri.

Material	Tipo	PCS (J/g)
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	sem compactação	16945
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	com compactação	16314
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	sem compactação	16057
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	com compactação	15967
Endocarpo (MCZ)	sem compactação	18002
Mesocarpo (MCZ)	sem compactação	14656
Folhas (MCZ)	sem compactação	18290
Folhas (MCZ)	com compactação	17768
Galhos (MCZ)	sem compactação	16177
Galhos (MCZ)	com compactação	16426
Epicarpo (SJT)	sem compactação	17838
Epicarpo (SJT)	com compactação	18893
Mesocarpo (SJT)	sem compactação	-
Mesocarpo/seco (SJT)	sem compactação	17289
Endocarpo (SJT)	sem compactação	18334
Torta	sem compactação	23220

Fonte: Autora, 2013

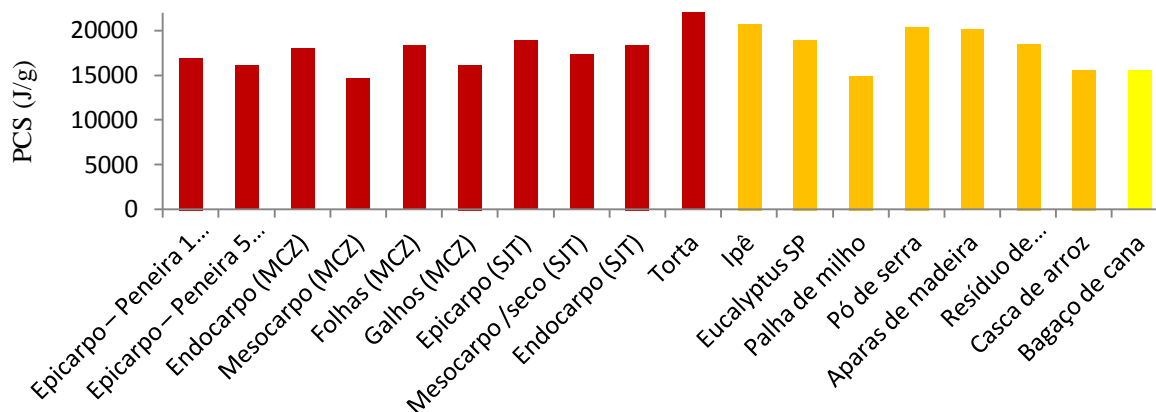
Na **Tabela 6**, encontra-se uma adaptação de Quirino (2004), na qual os autores mostram valores obtidos para alguns tipos de resíduos de biomassa já utilizados em todo o país.

Tabela 6 - PCS de outros resíduos

Material	PCS (J/g)
Ipê	20720
Briquete (resíduo de madeira + casca de arroz)	18998
<i>Eucalyptus</i> sp	18914
Costaneiras de <i>Pinus</i> sp	20808
Costaneiras de <i>Pinus</i> sp.	19729
Costaneiras de <i>Pinus</i> sp.	21050
Palha de milho	14922
Pó de serra	20398
Aparas de madeira	20064
Resíduo de compensado	18492
Casca de arroz	15591
Bagaço de cana	15486

Fonte: Adaptado de Quirino, 2004

O gráfico mostrado na **Figura 26**, mostra de maneira mais clara a comparação dos potenciais caloríficos obtidos com as amostras estudadas do ouricuri e outras biomassas citadas por Quirino, 2004. Em tons de vermelho, encontram-se as amostras do ouricuri e, em tons de amarelo as biomassas para comparação, com o destaque para o bagaço de cana destacado em amarelo ouro. Observa-se que de fato as amostras provenientes do ouricuri têm potencial uso como biomassa para fornos cerâmicos e fornos de padarias, inclusive se mostrou superior ao bagaço de cana que é bastante usado em Alagoas.

Figura 26 - Comparação entre PCS's de várias biomassas diferentes.

Fonte: Autora, 2013

Considerando o ouricuri como uma biomassa em potencial, já que seus valores de PCS foram bastante significativos, comparados com valores de literatura, será tratado agora os dados em relação ao poder calorífico inferior. O que determina a energia disponível por unidade de massa de combustível após a queima é o poder calorífico inferior (PCI), que mostra a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (Quirino, 2004), na **Tabela 7** constam esses valores. Observou-se também que valores grandes de umidade, determinam valores pequenos de PCI.

Tabela 7 - Poder calorífico inferior das partes do ouricuri.

Material	Tipo	PCI (J/g)
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	sem compactação	15185
Epicarpo – Peneira 1 (MCZ)	com compactação	14584
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	sem compactação	14230
Epicarpo – Peneira 5 (MCZ)	com compactação	14220
Endocarpo (MCZ)	sem compactação	16359
Mesocarpo (MCZ)	sem compactação	12727
Folhas (MCZ)	sem compactação	16620
Folhas (MCZ)	com compactação	16135
Galhos (MCZ)	sem compactação	14466
Galhos (MCZ)	com compactação	15201
Epicarpo (SJT)	sem compactação	16095
Epicarpo (SJT)	com compactação	17240
Mesocarpo (SJT)	sem compactação	-
Mesocarpo/seco (SJT)	sem compactação	15543
Endocarpo (SJT)	sem compactação	16677
Torta	sem compactação	21654

Fonte: Autora, 2013

5.6 Extração e caracterização do óleo e azeite de ouricuri

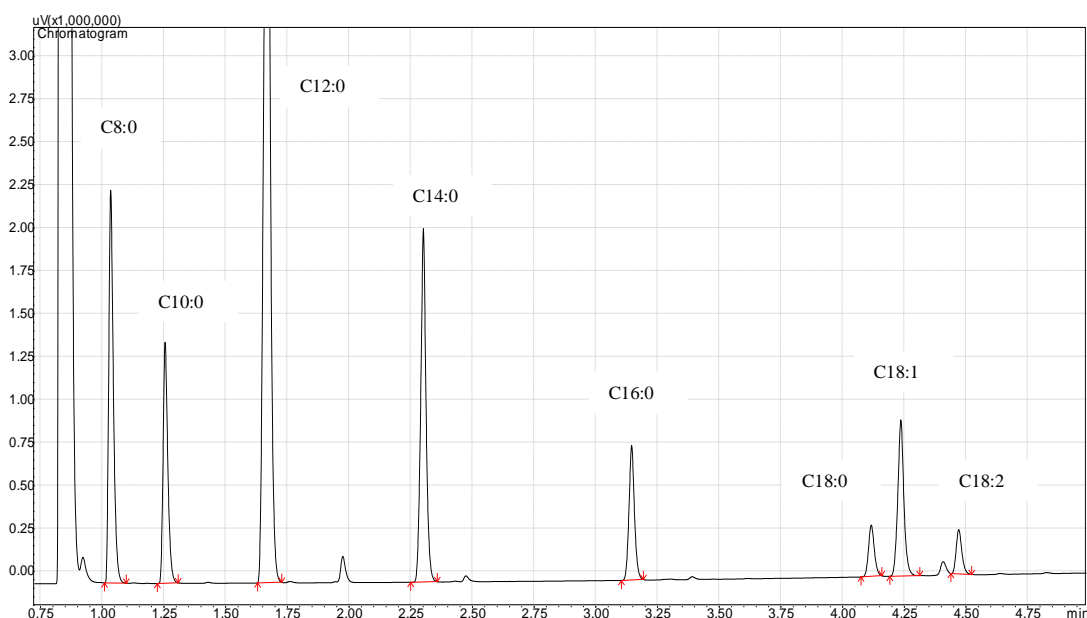
Utilizaram-se dois tipos de prensa para a extração do óleo de ouricuri. Com a prensa contínua obteve-se um rendimento de 35% em óleo, esse rendimento foi para 50% em óleo quando se empregou uma prensa hidráulica. Esses valores mostram uma viabilidade em se trabalhar com o ouricuri, pelo fato do mesmo ter um alto teor em óleo. De acordo com Silva

(2009), o teor em óleo de amostras como algodão (20-30%), amendoim (45-50%), gergelim (40-50%), mamona (45-55%) e soja (18-20%), mostra que o ouricuri tem uma quantidade considerável de óleo em sua amêndoa.

Para a extração do azeite de ouricuri utilizando o aparelho extrator de soxhlet, obteve-se um rendimento de 5% em azeite.

A composição em ácidos graxos do óleo obtido da palmeira ouricuri, mostrou que o mesmo é rico em ácido láurico (C12:0) que é bom para aumento da imunidade e redução de inflamações em humanos. A **Figura 27** mostra o cromatograma do óleo de ouricuri, onde posteriormente pode-se mensurar a massa molar do óleo, que foi de 650,3 g/mol.

Figura 27 - Cromatograma do óleo de ouricuri



Fonte: Autora, 2013

Na **Tabela 8**, mostra-se uma comparação da composição em ácidos graxos encontrada na literatura e obtida pela autora presentes no óleo de ouricuri. Pelos dados mostrados o óleo de ouricuri é um óleo que tem 90% de sua composição ácidos graxos saturados. A variação encontrada na **Tabela 8** pode ter razões com as propriedades físico-químicas (estocagem, amostragem, condições climáticas) da amostra utilizada para a obtenção do óleo.

Tabela 8 - Composição em ácidos graxos presente no óleo de ouricuri

óleo de ouricuri	Ácidos graxos (%)							
	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2
AUTOR	13	8	48	14	5	2	7	3
Ferreira, 2010	9	6	42	16	8	4	12	3

Fonte: Adaptado de Ferreira, 2010

A composição em ácidos graxos do óleo de ouricuri é bastante diferente se comparada ao óleo de soja, que é muito utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Segundo Fonseca (1974), o óleo de soja e o óleo de girassol apresentam em sua composição aproximadamente 85% em ácidos graxos insaturados (com maior quantidade de ácido linoléico) e apenas 15 % em ácidos graxos saturados, o óleo de algodão apresenta 75,77% em ácidos graxos insaturados e apenas, 24,23% em ácidos graxos saturados.

Na **Tabela 9** são apresentados os valores de algumas propriedades físico-químicas determinadas para o óleo de ouricuri.

Tabela 9 - Características físico-químicas do óleo de ouricuri

ÓLEO DE OURICURI	
Umidade (%)	0,357
Densidade (kg/m ³)	922
Índice de acidez (mg KOH/g óleo)	1,53
Viscosidade 40 °C (mm ² /s)	27,56
Resíduo de carbono (%) m/m	0,19
Entupimento a filtro frio (°C)	5
Rancimat (h)	30
Poder calorífico (J/g)	38600

Fonte: Autora, 2013

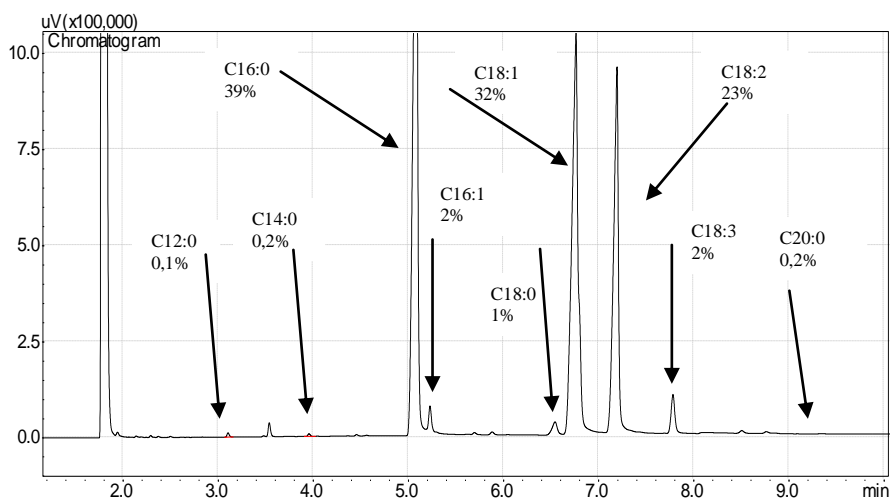
Segundo relatos de Silva (2005) se a acidez do óleo for menor que 3 mg KOH/g, (independente de ter sido o óleo degomado ou refinado), não é necessário neutralizá-lo, pois, deste modo à reação de transesterificação procederá com maior eficiência. Também é importante frisar que a acidez elevada também pode catalisar reações intermoleculares, as quais afetariam a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão, bem como a

ação corrosiva nos componentes metálicos no motor. No que competem à umidade, autores enfatizam que todas as matérias-primas deveriam ser anidras, com isto, o óleo deveria obter valor abaixo ou igual a 0,5% de teor de água, que é ideal para a reação de transesterificação, em virtude de não ocasionar a formação de sabão, além de favorecer o rendimento da reação.

A viscosidade obtida para o óleo de ouricuri é inferior à observada para o óleo de soja (30,6 mm²/s) e essa contestação de valor deve-se ao fato do óleo de soja ter em sua composição uma grande quantidade de ácidos graxos insaturados, principalmente o ácido linoléico (Mendonça, 2008).

A extração do azeite de ouricuri é dificultada pelo fato de que o mesmo está presente nas amostras numa proporção de apenas 5% em massa. O azeite apresentou coloração avermelhada graças a presença de carotenóides, que são substâncias antioxidantes e estimulantes do sistema imunológico (Curvelo, 2010). O azeite de ouricuri apresentou em sua composição uma maior concentração de ácidos graxos insaturados e de cadeia longa, o que justifica o fato da sua viscosidade ter sido alta. Pois, fatores como maior número de carbonos e conformidade da cadeia carbônica devido às insaturações comprometem a viscosidade. Na **Figura 28**, é mostrado o cromatograma obtido para o azeite proveniente da polpa do ouricuri. Seu índice de acidez apresentou um valor de 13,19 mg KOH/g azeite e, sua viscosidade foi de 45,55 mm²/s. Na literatura, não existem resultados expressivos com relação aos azeites de oliva e dendê (óleo de palma), porém, o óleo de palma também apresenta em sua composição, proporções iguais de ácidos graxos saturados e insaturados, sendo que, com uma viscosidade maior (69,00 mm²/s) (Coelho, 2004).

Figura 28 - Cromatograma do azeite de ouricuri



Fonte: Torres, 2009

Quando se compara a composição em ácidos graxos presentes no óleo do ouricuri e no azeite do ouricuri, obtidos nesse trabalho, **Tabela 10**, observa-se que ela é diferente. O óleo de ouricuri apresenta em sua composição ácidos graxos de cadeia curta (ácidos láurico e mirístico), devido a isso apresenta características físicas peculiares importantes para aplicações específicas (ex. na elaboração de sabonetes, substitutos de manteiga de cacau, óleo química). Enquanto que o azeite do ouricuri apresenta em maior quantidade ácidos graxos de cadeia longa (ácidos palmítico, esteárico e oléico), agindo como antioxidante biológico que protege contra a oxidação. Esta mesma ressalva é observada nos óleos de palmiste (obtido da amêndoa da palma) e dendê (obtido da polpa).

Tabela 10 - Comparação da composição em ácidos graxos presente no óleo e no azeite de ouricuri.

	Ácidos graxos (%)										
	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0
óleo	13	8	48	14	5	-	2	7	3	-	-
azeite	-	-	0,1	0,2	39	2	1	32	23	2	0,2

Fonte: Autora, 2013

5.7 Reações de Transesterificação

As reações de transesterificação do óleo de ouricuri tiveram como finalidade a obtenção do biodiesel B100, ou seja, o biodiesel puro. As reações foram realizadas com álcool metílico e etílico.

Com a realização das duas sínteses (biodieseis metílico e etílico), sendo alterado apenas o álcool, foi observada a ocorrência de diferenciação em ambos os processos, no que diz respeito ao tempo da reação. Para se obter o biodiesel etílico, se fizeram necessárias três reações de transesterificação enquanto que para o metílico uma reação foi suficiente. O tempo de decantação para a separação das fases, biodiesel e glicerina, também é diferenciado quando se compara os dois processos de obtenção. No biodiesel etílico a glicerina leva um tempo maior para decantar do que no biodiesel metílico. Isto é justificado, devido ao álcool etílico solubilizar a glicerina.

A qualidade do biodiesel produzido é um fator fundamental que condiciona um bom funcionamento e tempo de vida útil de um motor. Independentemente da rota tecnológica de produção, a aceitação do biodiesel no mercado precisa ser assegurada e, para isso, é

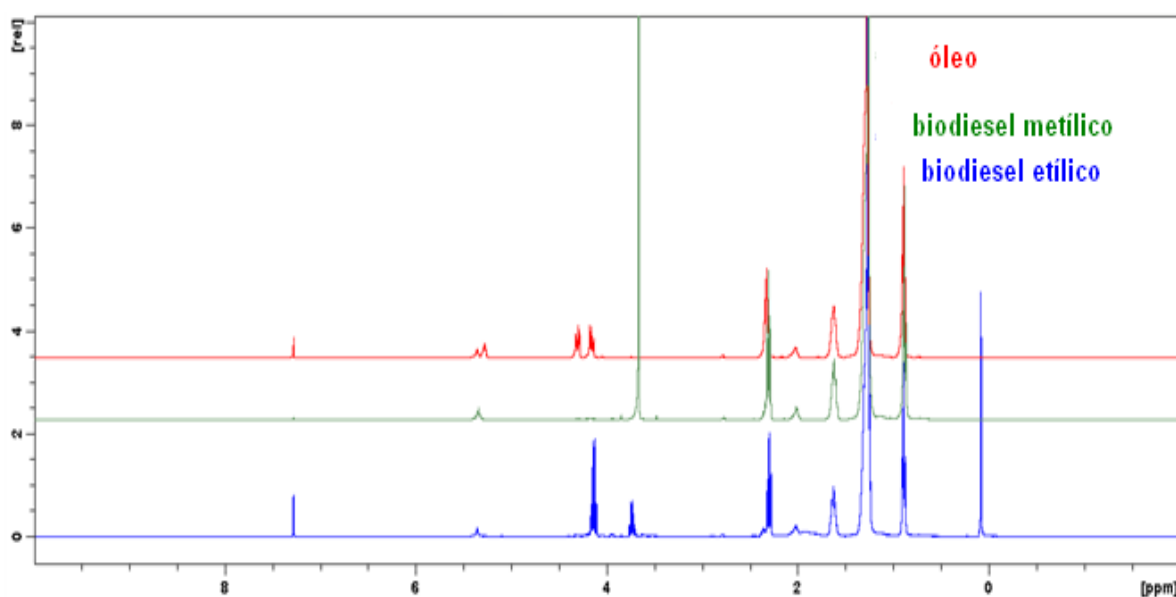
imprescindível que esse produto esteja dentro das especificações internacionalmente aceitas para o seu uso.

O aspecto do biodiesel obtido foi límpido, sem observação de impurezas. O rendimento em ésteres, para o biodiesel etílico e metílico, mostrou-se superior a 96,5%, o que evidencia que o biodiesel obtido a partir do ouricuri é uma alternativa viável na produção de biocombustíveis.

Biocombustíveis provenientes de outras oleaginosas como é o caso do babaçu, têm-se teor de ésteres tanto metílico quanto etílico acima dos 96,5%, ou seja, também atendem a norma da ANP nº 14 (Santos, 2008) e da soja, com teor de ésteres metílicos e etílicos acima de 96% (Candeia, 2008), mostram a viabilidade de se também utilizar o óleo de ouricuri como fonte para produção de biodiesel.

Na **Figura 29**, temos uma comparação dos espectros de RMN ^1H para o óleo e o biodiesel metílico e etílico. Observa-se que os sinais referentes ao triacilglicerídeo multipletos entre 4,0 e 4,5 ppm estão presentes no óleo de ouricuri. Mas, após a reação de transesterificação para a síntese do biodiesel metílico, este sinal desaparece, e o espectro de RMN ^1H apresenta um novo sinal, que é referente aos prótons da metoxila dos ésteres formados (singleto a $\approx 3,6$ ppm) e, para o biodiesel etílico apresentou apenas um quarteto em 4,2 ppm, referente aos prótons da etoxila formada ($-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$).

Figura 29 - Comparação dos espectros de RMN ^1H para o óleo e os biodieseis metílico e etílico



Fonte: Autora, 2013

Na **Tabela 11**, encontram-se alguns parâmetros físico-químicos encontrados para os biodieseis obtidos.

Tabela 11 - Parâmetros físico-químicos dos biodieseis metílico e etílico de ouricuri

	ETÍLICO	METÍLICO	ANP
Densidade (kg/m ³)	864	871	850-900
Índice de acidez (mg KOH/g biodiesel)	3,29	2,12	0,5
Viscosidade 40 °C (mm ² /s)	3,20	3,00	3-6
Resíduo de carbono (%) m/m	0,048	0,025	0,05
Entupimento a filtro frio (°C)	<-10	<-10	-
Rancimat (h)	-	9	6
Poder calorífico (J/g)	37000*	37000*	-

* valor de literatura (Ferreira, 2010)

Fonte: Autora, 2013

O biodiesel por ser um combustível derivado de óleos e gorduras animais ou vegetais está sujeito a oxidação, devido a longos tempos de armazenamento, exposições ao ar e presença de traços de peróxidos que podem aumentar a oxidação e assim diminuir a qualidade do biodiesel. A estabilidade oxidativa do biodiesel depende das quantidades de ácidos graxos saturados e insaturados presentes no óleo utilizado na sua produção. Ácidos graxos saturados são mais estáveis que os insaturados, pois estes favorecem o processo oxidativo. Sendo assim é importante conhecer estabilidade oxidativa do biodiesel para poder estabelecer condições de armazenamento e transporte deste produto (Dantas, 2010). O biodiesel metílico do ouricuri mostrou-se resistente a oxidação, com um tempo de 9 horas de estabilidade, enquanto que o biodiesel etílico oxidou nos primeiros minutos. É importante salientar que contaminantes presentes em pequenos teores na amostra de biodiesel, podem interferir nesse resultado, já que o método está baseado numa medida de condutividade.

O poder calorífico é um importante parâmetro na seleção do combustível e normalmente são encontrados valores inferiores para o biodiesel quando comparados ao diesel de petróleo, devido ao seu conteúdo de oxigênio (Ferreira, 2010). No caso do biodiesel obtido a partir do óleo de ouricuri, o poder calorífico foi considerado competitivo tornado este combustível viável em termos de quantidade de energia fornecida após a queima em motores de automóveis.

A viscosidade do biodiesel apresentou valor inferior se compararmos com o biodiesel do óleo de soja (metílico 5,75 mm²/s e etílico 5,83mm²/s) (Candeia, 2008) e similar comparando-a com o biodiesel de babaçu (metílico 3,07 mm²/s e etílico 3,5 mm²/s) (Santos, 2008), por exemplo.

Os valores relativos aos parâmetros físico-químicos aqui estudados, obtidos para o biodiesel em estudo, mostraram que o mesmo atende às especificações de qualidade do biodiesel, segundo a Resolução nº 14 da ANP, com exceção do índice de acidez. Tal fato indica que o processo de lavagem e separação dos biodieseis metílico e etílico não foram suficiente bem realizados, para que os rendimentos e análises das reações de transesterificação, em presença de catalisadores básicos, não sejam afetados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Após todo o estudo físico-químico, a palmeira *Syagrus coronata* mostrou ser uma biomassa com potencial uso como fonte alternativa para obtenção de energia, pois agrega uma quantidade de energia comparável a biomassas utilizadas.
- O teor de umidade de umidade apresentado nas amostras foi considerado favorável para sua utilização e, observou-se que o teor de umidade em torno dos 13% apresenta um poder calorífico alto.
- A quantidade de cinzas geradas pelas biomassas do ouricuri é muito pequenas, comparadas com outras biomassas o que contribui para sua viabilidade.
- A densidade foi suficiente capaz de mostrar que a melhor opção é pelas biomassas compactadas, diminuindo custos com transporte.
- O poder calorífico observado é comparado às diversas fontes de biomassa já utilizadas. Suas emissões são menos agressivas e, os resíduos podem ser utilizados como nutrientes em novas culturas.
- Tanto a localidade quanto a época em que a palmeira foi coletada não influenciou nos resultados, sendo, portanto, mais um fator positivo em relação ao seu uso, podendo a mesma ser utilizada durante todo o ano.
- Em relação ao óleo, extraído sem utilização de solventes orgânicos, tem um rendimento de até 50% a depender do tipo de prensa utilizada, o estudo mostrou que o mesmo tem características que mostram sua potencialidade para ser utilizado como biocombustível.
- A obtenção do biodiesel etílico apesar de ter sido dificultada, sendo necessárias três etapas, mostra que o mesmo é de boa qualidade.
- A síntese do biodiesel metílico, em apenas uma única etapa, demonstra a sua viabilidade técnica em relação ao biodiesel etílico, apesar de ambos terem o teor de ésteres que atendam a resolução ANP N° 14.
- Por conseguinte, sugere-se que os biodieseis obtidos são viáveis como fontes alternativas renováveis para serem aplicados como combustíveis em motores do ciclo a diesel.

7 PERSPECTIVAS

Com este estudo, foi possível corroborar com dados técnicos toda a potencialidade da palmeira ouricuri. É importante que as pessoas que trabalham e vivem da colheita do ouricuri tenham acesso a tais informações, pois sua utilização, até então muito baseada em crendices populares, passa a ter respaldo científico.

A palmeira *Syagrus coronata* teve todo um estudo físico-químico realizado. A partir de agora se pode fazer uma pesquisa de campo e repetir o estudo com prováveis espécies nativas do Nordeste Brasileiro e regiões para estudos de reflorestamento.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CARVÃO MINERAL - ABCM. **Gaseificação**. 2012. Disponível em: <<http://www.carvaomineral.com.br/abcm/conteudo.asp?d1=38&d2=&d3=15>>. Acesso em: abril 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Biomassa**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: dezembro 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **O biodiesel obrigatório**. 2009. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?pg=16197&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&os=&cachebust=1265741752921>>. Acesso em: fevereiro 2012.

ATABANI, A. E., SILITONGA, A. S., ONG, H. C., MAHLIA, T. M. I., MASJUKI, H. H., BADRUDDIN, I. A., FAYAZ, H. Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.18, pp.211–245.

BELTRÃO, N.E.M; OLIVEIRA, M.I.P. **Oleaginosas potenciais do Nordeste para a produção de biodiesel**. 2007. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. Campina Grande, PB. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/CNPA/21063/1/DOC177.pdf>>. Acesso em: outubro 2011.

BONDAR, G. O. Licurizeiro e suas potencialidades na economia brasileira. 1938. **Revista de Entomologia**. v.11, p. 199-214.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 14/01/2005, n.10, s.1, p.8.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Portaria Ministerial nº 702, de 30 de outubro de 2002. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 06/11/2002, s.1, p.23.

BRASIL. Resolução de 13, de março de 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 14/03/2008, n.51, s.1, p.82.

BRASIL. Resolução nº 2, de 27 de abril de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 18/05/2009, n.92, s.1, p.90.

BUZETZKI, E., SIDOROVÁ, K., CVENGROŠOVÁ, Z., KASZONYI, A., CVENGROŠ, J. The influence of zeolite catalysts on the products of rapeseed oil cracking. 2011. **Fuel Processing Technology**. v.92, pp.1623–1631.

CANDEIA, R. A. **Biodiesel de soja: síntese, degradação e misturas binárias**. João Pessoa, 2008. 132 p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal da Paraíba, 2008.

CARVALHO, N. O. S.; PELACANI, C. R.; RODRIGUES, M. O. de S.; CREPALDI, I. C. Uso de substâncias reguladoras e não específicas na germinação de sementes de licuri (*Syagrus coronata* (MART.) BECC). 2005. **Sitientibus Série Ciências Biológicas**, v. 5, n 1, pp. 28-32.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA - CENBIO. **Fontes de Biomassa**. 2011. Disponível em:<<http://cenbio.iee.usp.br/saibamais/fontes.htm>>. Acesso em: dezembro 2011.

COELHO, S. T. C.; da SILVA, O. C.; VELÁSZQUEZ, S. M. S. G.; MONTEIRO, M. B. C. A.; SILOTTO, C. E. G. A utilização de óleo de palma “in natura” como combustível em grupos geradores a diesel. 2004. **I Congresso Internacional de Bioenergia**, Campo Grande. Disponível em:<<http://cenbio.iee.usp.br/download/projetos/provegambioe.pdf>>. Acesso em: janeiro 2013.

CONCEIÇÃO, M. M.; CANDEIA, R. A.; DANTAS, H. J.; SOLEDADE, L.E.B.; FERNANDES Jr., V. J.; SOUZA, A. G. Rheological Behavior of Castor Oil Biodiesel. 2005. **Energy & Fuels**, v.19, pp. 2185-2188.

CORTEZ, L. A. B; LORA, E. S.; GÓMEZ, E. O.(org) **Biomassa para energia**. 2008. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008.

CREPALDI, I. C.; MURADIAN, L. B. de. A.; RIOS, M. D. G.; CAMARGO PENTEADO, M. de. V. C.; SALATINO, A. Composição nutricional do fruto de licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari). 2001. **Revista Brasileira de Botânica**. v.24, n.2, pp.155-159.

CURVELO, F. M. **Uma imersão no tabuleiro da baiana: o estudo do óleo de palma bruto (*Elaeis guineensis*)**. Salvador, 2010.103p. Dissertação (Mestrado em Alimentos, Nutrição e Saúde)- Universidade Federal da Bahia, 2010.

DANTAS, M. B. **Blendas de biodiesel: propriedades de fluxo, estabilidade térmica e oxidativa e monitoramento durante armazenamento**. João Pessoa, 2010. 115p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal da Paraíba, 2010.

TORRES, M. A. Z. **Desafios para o desenvolvimento do setor de Energias Renováveis no Brasil**. 2009. Disponível em:<<http://www.jelareproject.eu/Downloads/panoramabrazil/presentations/Networkin-g-BR-Brasil-2.pdf>>. Acesso em: abril 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPN, 2011. **Balanco Energético Nacional 2011** – Ano base 2010: Resultados Preliminares Rio de Janeiro: EPE, 2011. 49 p.18. Disponível em:<[https://ben.epe.gov.br/downloads/ResultadosPreBEN2011 .pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/ResultadosPreBEN2011.pdf)>. Acesso em: abril 2012.

FARIA, C. **Biomassa**. 2011 Disponível em:<<http://www.infoescola.com/combustiveis/biomassa/>>. Acesso em: novembro 2011.

FERREIRA W. L. S. TEIXEIRA K. S. L. S., MENEGHETTI,S.M.P., MENEGHETTI, M.R. SANTOS I.C.F., SILVA J.P.V., CARVALHO S.H.V., SOLETTI J.I. Characterization of *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. Oil and properties of methyl esters for use as biodiesel. 2010. **Industrial Crops and Products**. v.32, pp 518–521.

FERTIBOM. Disponível em:<<http://www.fertibom.com.br>>. Acesso em: junho 2012.

FONSECA, H.; GUTIERREZ, L. E. **Composição em ácidos g r a x o s d e óleos vegetais e gorduras animais**. 1974. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v31/38.pdf>>. Acesso em: fevereiro 2013.

FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. 2001. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, n.5, v.92, pp.405-416.

GUARDABASSI, P. **Sustentabilidade da biomassa como fonte de energia perspectivas para países em desenvolvimento**. São Paulo, 2006. Dissertação (Mestrado em Energia)- Universidade de São Paulo, 2006.

HENDERSON, A.; GALEANO, G.; BERNAL, R. **Field guide to the palms of the Americas**. New Jersey: Princeton University Press, 1995. 351 p.
KARPINSK, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil : uma abordagem ambiental** [recurso eletrônico] Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em:<<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>>. Acesso em: abril 2012.

HOFFMAN, R. **Método avaliativo da geração regionalizada de energia, em potências inferiores a 1 MW_e, a partir da gestão de resíduos de biomassa – o caso da casca de arroz**. Porto Alegre, 1999. 211 p. Tese (Doutorado em Engenharia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. 2006. 1^a ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. 2010. **Applied Energy**, n.4, v.87, pp.1083–1095.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 1992. Editora Plantarum, Nova Odessa, São Paulo. p.287.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M.; MADEIROS-COSTA, J.T.; CERQUEIRA, L.S.C. & FERREIRA, E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. 2004. Editora Plantarum. Nova Odessa, São Paulo. p.432.

MEDEIROS-COSTA, J.T. As espécies de palmeiras (*Arecaceae*) do Estado de Pernambuco, Brasil. 2002. pp.229-236. *In*: M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.). **Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco**. Recife, SECTMA & Massangana.

MENDONÇA, D. R. **Emprego de catalisadores de estanho (IV) em reações de transesterificação**. Maceió, 2008. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal de Alagoas, 2008.

NOBLICK, L. R. **The indigenous palms of the State of Bahia, Brazil**. 1991. PhD Thesis, University of Illinois, Chicago.

OLIVEIRA, F. C. C., SUAREZ, P. A. Z., DOS SANTOS, W. L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. 2008. **Química Nova na Escola**, pp. 3-8. Disponível em: < <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/02-QS-1707.pdf>>. Acesso em: novembro 2012.

OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2002, Rio de Janeiro. *Anais eletrônicos*. Rio de Janeiro: COPPE, 2002. Disponível em: <<http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/biodiesel.pdf>>. Acesso em: setembro 2012.

OIKOS Laboratórios. **Palmeiras**. 2012. Disponível em:<<http://www.oikos.ufpr.br/produtos/palmeira.pdf>>. Acesso em: janeiro 2012.

QUIRINO, W. F., do VALE, A. T., de ANDRADE, A. P. A., ABREU, V. L. S., AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. 2004. **Biomassa & Energia**, v.1, n.2, pp.173-182.

RAMALHO, C. I. **Licuri (*Syagrus coronata*)**. 2011. Disponível em: <<http://www.cca.ufpb.br/lavouraxerofila/pdf/licuri.pdf>>. Acesso em: abril 2012.

RODRIGUES, R. A. **Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade**. 2006. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N. (Coord.). O Futuro da indústria: biodiesel - Coletânea de Artigos. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: IEL, 2006. 143 p. (Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior, 14).

SANTANA, N. O. Crescimento inicial de plantas licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) em diferentes níveis de luminosidade. 2006. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, jun.2006, ESALQ/USP.

SANTOS, J. R. de J. **Biodiesel de babaçu: avaliação térmica, oxidativa e misturas binárias**. Orientador: Antônio Gouveia de Souza. 2008. 103p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal da Paraíba, 2008.

SILVA, A. J. **Digestão anaeróbia**. 2011. Disponível em: <[http://www.ceset.unicamp.br/~ajsilva/.../PROCE SSOS% 20ANAERÓBIOS.d](http://www.ceset.unicamp.br/~ajsilva/.../PROCE%20SSOS%20ANAERÓBIOS.d)>. Acesso em: abril 2012.

SILVA, C. L. M. **Obtenção de Ésteres Etilicos a partir da Transesterificação do Óleo de Andiroba com Etanol**. Orientador: Ulf Friedrich Schuchardt. 2005. Dissertação (Mestrado em Química)- Universidade Estadual de Campinas, 2005.

SILVA, G. J. DA. **Produção de haplóides androgenéticos em milho**. 2009. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2009/documento/Doc_81.pdf>. Acesso em: janeiro de 2013.

SOUZA, J. E. A. de. **Avaliação das diversas fontes e tipos de biomassa do estado de Alagoas: estudo de suas características físico-químicas e de seu potencial energético**. Maceió, 2011. 180p. Tese (Doutorado em Ciências)- Universidade Federal de Alagoas, 2011.

WANG, W. G.; LYONS, D. W.; CLARK, N. N.; GAUTAM, M. Emissions from nine heavy trucks fueled by diesel and biodiesel blend without engine modification. 2000. **Environ Sci Technol.**, v.34, pp.933-939.

ZHANG, Y.; DUBE, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. 2003. **Bioresource Technology**, v.89, pp.1-16.