

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

VERÔNICA SCALET

**CARACTERIZAÇÃO E CONFEÇÃO DE BRIQUETES DA CASCA DE LICURI  
(*Syagrus coronata* (MART) BECC.) PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA**

Sorocaba  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
CAMPUS DE SOROCABA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS MATERIAIS

VERÔNICA SCALET

**CARACTERIZAÇÃO E CONFEÇÃO DE BRIQUETES DA CASCA DE  
LICURI (*Syagrus coronata* (MART) BECC.) PARA PRODUÇÃO DE  
ENERGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, para obtenção do título de mestre em Ciência dos Materiais.

Orientação: Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji

Sorocaba  
2015

Scalet, Verônica.  
S281c Caracterização e confecção de briquetes da casca de licuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) para produção de energia. / Verônica Scalet. -- 2015.  
60 f. : 28 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, *Campus*  
Sorocaba, Sorocaba, 2015

Orientador: Fábio Minoru Yamaji

Banca examinadora: Franciane Andrade de Pádua, Leandro Cardoso de  
Morais

Bibliografia

1. Briquetes. 2. Biomassa. 3. Energia – Fontes alternativas. I. Título. II.  
Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos.

CDD 333.9539

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca *Campus* Sorocaba.

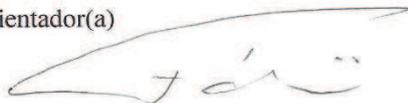
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**VERÔNICA SCALET**

**“CARACTERIZAÇÃO E CONFEÇÃO DE BRIQUETES DA CASCA DE  
LICURI (SYAGRUS CORONATA (MART) BECC.) PARA PRODUÇÃO DE  
ENERGIA”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais - PPGCM, para obtenção do título de mestre em Ciência dos Materiais. Área de concentração Materiais Funcionais e Polímeros de Fontes Renováveis, da Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 06 de abril de 2015.

Orientador(a)



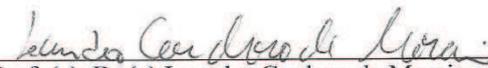
Prof. (a). Dr.(a) Fábio Minoru Yamaji  
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba

Examinador(a)



Prof. (a) Dr. (a) Franciane Andrade de Pádua  
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba

Examinador(a)



Prof. (a). Dr.(a) Leandro Cardoso de Moraes  
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho, campus Sorocaba



## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais, Célio e Claudete, por sempre acreditarem na importância da educação em minha formação como ser humano.*

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente agradeço a Deus, que me deu forças e coragem para jamais desistir diante das dificuldades.

A minha mãe Claudete, ao meu pai Célio e ao meu companheiro de jornada Rafael, que me dedicaram carinho e paciência, acreditando na realização e conclusão de mais essa etapa em minha vida.

Ao professor, orientador e amigo Fábio Yamaji por seu apoio, inspiração e dedicação na execução deste trabalho.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa em Biomassa e Bioenergia, em especial aos amigos que diretamente me auxiliaram com experimentos e com a escrita de artigos como Luis Ricardo, Alessandra, Ariane, Renan, Jéssica, Yasmim e Joara, sem vocês com certeza esse trabalho não teria sido concluído.

Ao Sr. Deusdete, meu contato com a comunidade de Caldeirão Grande – BA, fornecendo o material para a pesquisa realizada nesse trabalho.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba, que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada.

A CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

A todos que direta ou indiretamente estiveram presentes nessa etapa da minha vida.

## RESUMO

SCALET, Verônica. Caracterização e confecção de briquetes da casca de Licuri (*Syagrus coronata* (MART) BECC.) para produção de energia. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Centro de Ciências e Tecnologias para Sustentabilidade, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

A casca de Licuri é uma potencial fonte de biomassa para a produção de energia. O presente trabalho tem como objetivo a confecção de briquetes e a caracterização físico-química da casca de Licuri visando à ampliação de seu uso como combustível. O material foi coletado em Caldeirão Grande – BA e foram confeccionados briquetes com cinco formulações distintas: 100% casca de Licuri (T1), 75% casca de Licuri + 25% palha de cana-de-açúcar (T2), 50% casca de Licuri + 50% palha de cana-de-açúcar (T3), 25% casca de Licuri + 75% palha de cana-de-açúcar (T4) e por fim 100% palha de cana-de-açúcar (T5). Os briquetes foram medidos para obtenção do valor da sua expansão e densidade, passaram pelo teste de tamboramento e realizou-se ensaio mecânico quanto à resistência a tração por compressão diametral. Além disso foram realizadas as seguintes análises para a casca de Licuri: teor de umidade, densidade, granulometria, teor de cinzas e teor de voláteis, carbono fixo, poder calorífico superior, extrações por água quente e por ciclohexano/etanol, teor de lignina e análise termogravimétrica. Foram realizadas análises estatísticas quando pertinente (ANOVA e Teste de Tukey). A expansão dos briquetes estabilizou após 24h de sua confecção, quanto a expansão em altura, não houve diferença significativa entre os tratamentos, já para a expansão em diâmetro os tratamentos com maior porcentagem de casca de Licuri (T1 e T2) apresentaram a menor expansão. Para o ensaio mecânico os tratamentos T1 e T2 diferenciaram-se dos demais tratamentos apresentando maior força máxima (34,09 e 34,64 Kgf respectivamente). O poder calorífico superior ( $4652 \text{ Kcal.Kg}^{-1} \pm 18$ ), o teor de cinzas (3,90% + 1,42) e o teor de lignina (36,86%  $\pm 2,6$ ) do material são elevados quando comparados a outras biomassas. Com os resultados, a casca de Licuri mostrou-se potencialmente interessante para a produção de energia. Assim, o uso do Licuri com a finalidade de se produzir energia pode ser de grande importância para as famílias que vivem de sua extração, pois o mesmo possui características favoráveis para tal uso. Além disso, a confecção de briquetes pode otimizar o processo de transporte e queima do material.

Palavras-chave: Biomassa. Bioenergia. Oricuri.

## ABSTRACT

The Licuri bark is a potential source of biomass for energy production. This study aims at making briquettes and the physicochemical characterization of Licuri bark aiming to expand its use as fuel. The material was collected in Great Cauldron - BA and briquettes were made with five different compositions: 100% Licuri bark (T1), 75% Licuri bark + 25% sugar cane straw (T2), 50% Licuri bark + 50% sugar cane straw (T3), 25% Licuri bark + 75% sugar cane straw (T4) and finally 100% sugar cane straw (T5). The briquettes were measured to obtain the value of its expansion and density, passed through drumming test and was made mechanical test on the tensile strength by diametrical compression. Also were made the following analyzes to Licuri bark: moisture content, density, particle size, ash and volatile content, fixed carbon, high heat value, extraction with hot water and cyclohexane / ethanol, lignin and thermogravimetry analysis. Statistical analyzes were made when appropriate (ANOVA and Tukey's test). The expansion of briquettes stabilized after 24 hours of its confection, about the expansion in height, there was no significant difference between treatments, as for the expansion in diameter treatments with the highest percentage of Licuri bark (T1 and T2) showed the lowest expansion. Finally, for the mechanical test the T1 and T2 differed from the other treatments with larger maximum force (34.09 and 34.64 kgf respectively). The moisture content observed was  $11.15\% \pm 1.31$ , suitable for energy use. The gross calorific value ( $4652 \text{ Kcal.Kg}^{-1} \pm 18$ ), the ash content ( $3.90\% + 1.42$ ) and lignin content ( $36.86 \pm 2.6\%$ ) of the observed material are high when compared to other biomass. Therefore, the use of Licuri in order to produce energy can be very important for families living of their extraction, because it has favorable characteristics for such use. Moreover, the production of briquettes may optimize the transport process and the burning of the material.

Keywords: Biomass. Bioenergy. Oricuri.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	13
FIGURA 2.2: Fontes de biomassa.....	15
FIGURA 2.3: Formatos mais comuns de briquetes.....	20
FIGURA 2.4: Distribuição geográfica das empresas produtoras de briquetes.....	20
FIGURA 2.5: Representação do Bioma Caatinga dentro do Brasil.....	22
FIGURA 2.6: <i>Syagrus coronata</i> .....	23
FIGURA 2.7: Frutos com detalhe do endosperma.....	25
FIGURA 2.8: Usos do Licuri por uma comunidade pernambucana.....	26
FIGURA 3.1: Casca de Licuri não triturada.....	27
FIGURA 3.2: Localização de Caldeirão Grande-BA.....	28
FIGURA 3.3: Localização de Ibaté-SP.....	28
FIGURA 3.4: Prensa hidráulica (A) e moldes (B) para confecção de briquetes.....	33
FIGURA 4.1: Distribuição granulométrica da amostra de Casca de Licuri não triturada e da amostra de Casca de Licuri triturada.....	35
FIGURA 4.2: Curvas TG para casca de Licuri com quatro patamares (I, II, III, IV) e curva DTG para casca de Licuri com pico de decomposição (A) e ombro de decomposição da celulose (B).....	41
FIGURA 4.3: Briquetes dos tratamentos T1- 100% Casca de Licuri, T2 - 75% Casca de Licuri + 25% Palha de Cana , T3 - 50% Casca de Licuri + 50% Palha de Cana, T4 - 25% Casca de Licuri e 75% Palha de Cana e T5 - 100% Palha de Cana...	43
FIGURA 4.4: Expansão longitudinal dos briquetes no decorrer de 48 horas.....	44
FIGURA 4.5: Expansão do diâmetro dos briquetes no decorrer de 48 horas.....	44
FIGURA 4.6: Briquetes após as 48h.....	45
FIGURA 4.7: Resultado do ensaio de tamboramento. (A) T1 - 100% Casca de Licuri. (B) T2 - 75% Casca de Licuri + 25% Palha de Cana. (C) T3 - 50% Casca de Licuri + 50% Palha de Cana. (D) T4 - 25% Casca de Licuri + 75% Palha de Cana. (E) T5 - 100% Palha de Cana.....	53

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Biomassas utilizadas na produção de briquetes.....	16
TABELA 2.2: Densidade de algumas biomassas.....	17
TABELA 2.3: Poder calorífico inferior (PCS) de algumas biomassas.....	18
TABELA 2.4: Teor de cinzas de algumas biomassas.....	18
TABELA 2.5: Teor de lignina de algumas biomassas.....	19
TABELA 2.6: Valores da tonelada de algumas biomassas.....	21
TABELA 2.7: Valores da tonelada de alguns tipos de briquetes e pélete.....	21
TABELA 3.1. Composição dos briquetes.....	32
TABELA 4.1: Análise granulométrica da casca de Licuri inteira e triturada.....	35
TABELA 4.2: Teores de umidade verificados nas amostras de material.....	36
TABELA 4.3: Densidade verificada nas amostras de material.....	37
TABELA 4.4: Resultado da ANOVA realizada para a densidade.....	37
TABELA 4.5: Teor de cinzas, voláteis e carbono fixo para as amostras de material.....	38
TABELA 4.6: Resultado da ANOVA realizada para o teor de cinzas.....	38
TABELA 4.7: Resultado da ANOVA realizada para o teor de voláteis.....	39
TABELA 4.8: Extrativos em ciclohexano/etanol, em água quente e teor de lignina Klason para casca de Licuri.....	39
TABELA 4.9: Faixa de temperatura e perda de massa para os patamares da análise termogravimétrica.....	41
TABELA 4.10: Valores médios da expansão longitudinal e do diâmetro dos briquetes	45
TABELA 4.11: Resultado da ANOVA realizada para a expansão longitudinal.....	46
TABELA 4.12: Resultado da ANOVA realizada para a expansão em diâmetro.....	46
TABELA 4.13: Densidade média dos briquetes por tratamento.....	47
TABELA 4.14: Resultado da ANOVA realizada para a densidade aparente dos briquetes.....	47
TABELA 4.15: Resultado do ensaio mecânico dos briquetes.....	48
TABELA 4.16: Resultado da ANOVA realizada para a força máxima.....	49
TABELA 4.17: Porcentagem de perda de material após ensaio de tamboramento.....	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	13
2.1	A BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	14
2.2	BRIQUETES.....	16
<b>2.2.1</b>	<b>O Mercado de Briquetes</b> .....	20
2.3	<i>SYAGRUS CORONATA</i> : LICURI.....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA CASCA DE <i>SYAGRUS</i> <i>CORONATA</i> .....	29
3.2	CONFECÇÃO E TESTE DOS BRIQUETES.....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO <i>SYAGRUS CORONATA</i> .....	35
<b>4.1.1</b>	<b>Análise Granulométrica</b> .....	35
<b>4.1.2</b>	<b>Teor de Umidade</b> .....	36
<b>4.1.3</b>	<b>Densidade a granel</b> .....	36
<b>4.1.4</b>	<b>Poder Calorífico</b> .....	37
<b>4.1.5</b>	<b>Teor de Cinzas, Voláteis e Carbono Fixo</b> .....	38
<b>4.2.6</b>	<b>Teor de Extrativos e Lignina</b> .....	39
<b>4.2.7</b>	<b>Análise Térmica</b> .....	40
4.2	CONFECÇÃO E TESTE DOS BRIQUETES.....	43
<b>4.2.1</b>	<b>Análise da Expansão</b> .....	43
<b>4.2.2</b>	<b>Determinação da Densidade Aparente</b> .....	47
<b>4.2.3</b>	<b>Ensaio Mecânico</b> .....	48
<b>4.2.4</b>	<b>Ensaio de Tamboramento</b> .....	50
<b>4.2.5</b>	<b>Densidade Energética</b> .....	50
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	52
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do século XX o petróleo e o gás natural se tornaram as principais fontes de energia, o que fez elevar os níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera e reduzir as reservas desses combustíveis (LIMA et al., 2007). Além disso, a energia está ligada diretamente ao desenvolvimento econômico e social de uma nação, e com as previsões de crescimento econômico e populacional em todo o planeta, a energia provinda de origem fóssil poderá não ser suficiente (LIMA et al., 2007; DIAS et al., 2012).

Assim, a energia tornou-se um recurso cada vez mais escasso e custoso, levando à busca por energias renováveis como a biomassa, representada pelo uso crescente das biomassas provenientes do milho e da cana-de-açúcar no cenário atual (CORTEZ et al., 2008; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

A biomassa é a forma de energia mais primária utilizada pelos seres humanos, sendo hoje a responsável por 6% da energia global consumida, o valor baixo pode ser explicado pela idéia primitiva de baixa eficiência, por isso se faz necessário entender as propriedades das biomassas bem como seus processos de conversão para torná-la cada vez mais eficiente (JEKINS et al., 1998; CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2010).

Diante da necessidade de se conhecer novas e potenciais biomassas, o Licuri (*Syagrus coronata*), palmeira típica do semi-árido brasileiro e que atualmente tem como seu principal uso a alimentação humana e de criações, pode apresentar em sua casca grande potencial energético, sendo mais uma alternativa de renda para a população da caatinga brasileira, que segundo Rissi e Galdino (2011) já apresentam interesse em executar plantios da palmeira.

Além disso, seu uso pode auxiliar na redução da pressão sobre as espécies arbustivas utilizadas amplamente para fins energéticos nessa região, como a *Caesalpinia pyramidalis* (Catingueira) por exemplo, reduzindo o impacto do desmatamento no bioma (ALBIERO et al., 2007; RUFINO et al., 2008; FIGUEIRÔA et al., 2008; PAES et al., 2013).

As pesquisas com o Licuri são raras e concentram-se nas áreas social, econômica e nutricional como pode-se observar nos estudos realizados por Crepaldi et al. (2001) e Rufino et al. (2008). Já para o babaçu, palmeira da mesma família do Licuri, já existem estudos do seu uso energético, como os reportados por Pavlak et al. (2007), Lima-Júnior et

al. (2014) e Protásio et al. (2014), demonstrando que seu uso como alternativa energética pode apresentar resultados significativos.

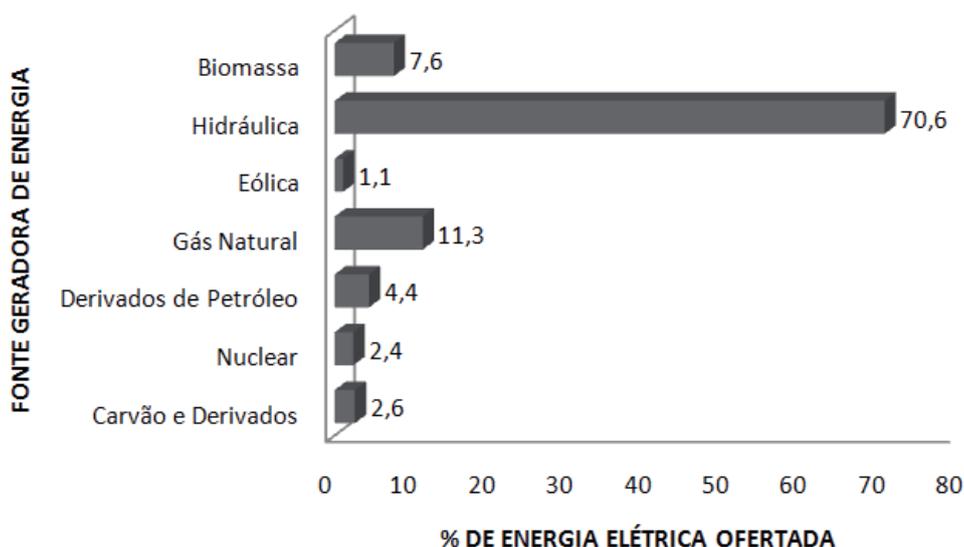
É nesse contexto que o presente trabalho tem por objetivo a caracterização físico-química da casca de Licuri e a confecção de briquetes da casca de Licuri e de palha de cana de açúcar, com o intuito de ampliar o uso do Licuri como combustível, auxiliando na qualidade de vida da população local e reduzindo o desmate do bioma, utilizando a casca, resíduo da exploração do Licuri, ao invés da lenha que é o material mais comum utilizado para produção de energia no semi-árido brasileiro.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No Brasil, a matriz energética renovável é diversificada (hidroelétrica, eólica, biomassa, entre outras) e em muitos casos muito eficiente (DIAS et al., 2012). Segundo BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2014), 79,3% da energia no país é de fonte renovável, sendo que a energia oriunda de fontes não hidráulicas apresentou um aumento de 4,9% em 2012 para 2013.

No ano de 2013, no Brasil, a energia provinda de hidrelétricas representou 70% da oferta interna de energia elétrica (FIG. 2.1), o que corresponde a 570 TWh (BRASIL. Ministério de Minas e Energia, 2014), embora seja uma alternativa relativamente barata e limpa, as dificuldades em se obter as licenças ambientais pertinentes e a localização dos principais rios na região amazônica, longe dos centros consumidores dificulta a expansão dessa forma de produção de energia (MARCONATO & SANTINI, 2008).

FIGURA 2.1: Oferta interna de energia elétrica por fonte.



Fonte: Adaptado de BRASIL, MME (2014).

Outra forma de energia limpa é a solar, embora com sol em abundância no país seu custo é elevado, inviabilizando seu uso em grande escala, o mesmo acontece com a energia eólica, que embora ocasione baixo impacto ambiental, tem elevado custo e só pode ser aplicada em algumas regiões do país, mesmo assim seu uso cresceu 86% de 2011 para 2012, representando 0,9% da oferta de energia interna no país (MARCONATO & SANTINI, 2008; BRASIL. Ministério de Minas e Energia, 2013).

Há ainda a madeira em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, até mesmo na forma de resíduos silviculturais ou industriais, especialmente nos estados de São Paulo e Paraná (BRASIL-ANEEL, 2005; MARCONATO & SANTINI, 2008). O aproveitamento de resíduos de cana-de-açúcar também tem crescido, tendo como facilitador o grande número de usinas instaladas no país, a produção de etanol em 2013 chegou a 27.608 mil m<sup>3</sup>, um aumento de 17% em comparação ao ano anterior (BRASIL. Ministério de Minas e Energia, 2014).

A biomassa, recurso oriundo de matéria orgânica utilizado na produção de energia, passa a ser uma alternativa de energia renovável e abundante, sua quantidade existente no mundo corresponde a oito vezes o consumo mundial de energia primária (MARCONATO & SANTINI, 2008; BRASIL-ANEEL, 2005). Seu uso é aplicado em larga escala nas indústrias sucroalcooleiras, de celulose e cerâmicas, e deverá aumentar devido ao crescimento populacional e urbanização que elevará a demanda energética mundial (FERREIRA & MENDONÇA, 2012; MARCONATO & SANTINI, 2008).

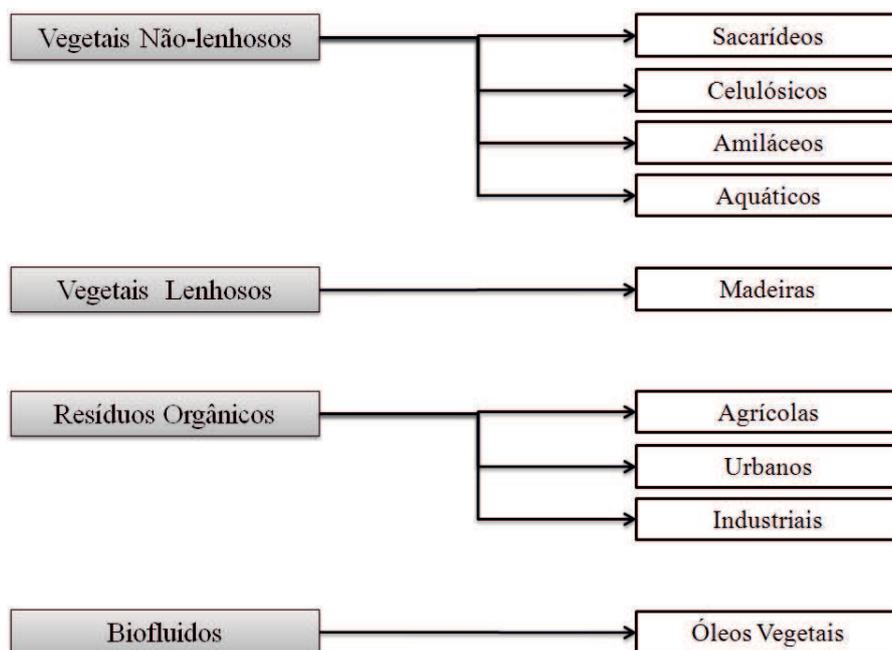
Além disso, parte da população do interior do Brasil não tem acesso a eletricidade e a exploração de recursos locais na geração de energia por meio de biomassa vegetal torna-se atraente não só ambientalmente, mas também tecnicamente (FERREIRA & MENDONÇA, 2012).

## **2.1. A Biomassa na Geração de Energia**

A produção de arroz, soja, milho, cana-de-açúcar e coco são os principais responsáveis pela produção de biomassa no Brasil (CORTEZ et al., 2008). Além desses, outros materiais como o babaçu, o açáí e a castanha-do-pará começam a ser estudados como materiais importantes para produção de bioenergia.

A biomassa pode ser obtida a partir de quatro fontes: vegetais não-lenhosos, vegetais lenhosos, resíduos orgânicos e biofluidos. A FIG. 2.2 apresenta esquema com as fontes de biomassa.

FIGURA 2.2: Fontes de biomassa.



Adaptado de Cortez et al. (2008).

Os resíduos que podem se tornar matéria-prima energética podem ainda ser divididos em vegetal (material de colheita agrícola), sólido urbano (resíduo domiciliar), industrial, animal (excremento de criações) e florestal (CORTEZ et al., 2008).

A biomassa pode ser transformada em três tipos de combustível, o biocombustível líquido (biodiesel ou bioetanol), o gasoso (biogás) e o sólido (péletes, briquetes e carvão) (VENDRASCO & YAMAJI, 2009). A partir de diferentes tecnologias, esses combustíveis podem converter energia nas formas térmica, elétrica ou mecânica, podendo ser utilizadas em diversas atividades (SAWIN, 2012).

Algumas propriedades são críticas na produção de bioenergia como, por exemplo, a umidade, que em excesso inibe a reação espontânea do material, além de outras propriedades como a densidade e propriedades mecânicas que estão diretamente ligadas ao transporte de biomassa (JEKINS et al., 1998).

## 2.2. Briquetes

Os briquetes são uma alternativa tecnológica para o melhor aproveitamento dos resíduos de biomassa e obtenção de energia renovável, formados a partir da trituração e aglomeração de partículas lignocelulósicas com auxílio de pressão, formando blocos. A briquetagem é uma atividade comum de indústrias de pequeno porte, exigindo que a matéria-prima esteja próxima para se tornar economicamente viável (CALEGARI et al., 2005; FERNANDEZ et al., 2012; FLORES et al., 2010).

São materiais utilizados para a produção de briquetes a serragem, casca de arroz, sabugo e palha de milho, cascas de frutas, cascas e caroços de palmáceas, casca de açaí, casca de café, bagaço de cana-de-açúcar, entre outras.

A Tabela 2.1 apresenta um resumo de algumas biomassas utilizadas na produção de briquetes (DIAS et al., 2012). No estado de São Paulo as principais matérias primas são o bagaço de cana-de-açúcar, a serragem, a casca de algodão e casca de amendoim, chegando a uma produção de cerca de 381 toneladas por mês de briquetes, utilizados nas indústrias siderúrgicas, têxteis, curtumes e cerâmicas, fábricas de papel, frigoríficos, padarias, pizzarias, lavanderias, hotéis e hospitais (VENDRASCO & YAMAJI, 2009).

TABELA 2.1: Biomassas utilizadas na produção de briquetes.

<b>Produto</b>	<b>Resíduo</b>	<b>Produto</b>	<b>Resíduo</b>
Cana-de-açúcar	Palhada, Bagaço	Coco Verde	Cacho, Casca
Milho	Palhada, Sabugo	Feijão	Palhada, Vagem
Arroz	Hastes, Cascas	Madeira	Casca, Serragem, Cavaco
Trigo	Caule, Folhas	Castanha-do-pará	Casca
Café	Palhada, Casca, Borra	Babaçu	Casca
Algodão	Palhada	Amendoim	Casca
Carnaúba	Bagana	Cevada	Bagaço

Fonte: Dias et al., 2012.

Até o ano de 2012 eram produzidos no país aproximadamente 1,2 milhão de toneladas de briquetes por ano, sendo 77,5% obtidos a partir de madeira e 22,5% a partir de resíduos agrícolas (DIAS et al., 2012). Os principais desafios para o crescimento do mercado de péletes e briquetes no Brasil são de caráter logístico, técnico e econômico.

Quanto ao caráter logístico, a baixa densidade da biomassa acarreta em altos custos de transporte, inviabilizando transportes a longas distâncias. Do ponto de vista técnico, como cada matéria prima apresenta suas próprias características, faz-se necessário conhecimento técnico em coleta, secagem e moagem dos materiais. Por fim, do ponto de vista econômico, a falta de linhas de crédito específicas para as indústrias de confecção de briquetes dificultam sua implantação, pois há necessidade de grande investimento inicial.

Entre as características relevantes dos briquetes estão a densidade, o poder calorífico e o teor de cinzas, que garantem vantagens operacionais, logísticas, energéticas e ambientais aos briquetes (CALEGARI et al., 2005).

Quanto maior for a densidade do material, maior é a quantidade de energia estocada por unidade de área, interferindo na logística e estoque do material, além disso, a densidade está diretamente relacionada com o conteúdo calórico do briquete, sendo possível observar que a briquetagem possibilita o aumento da densidade (QUIRINO, 2004; FLORES et al., 2010). A Tabela 2.2 apresenta a densidade de alguns materiais lignocelulósicos.

TABELA 2.2: Densidade de algumas biomassas.

Material	Densidade (g*cm <sup>-3</sup> )	Referência
Endocarpo de Babaçu	1,085	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Endocarpo de Macaúba	1,161	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Cedrinho Japonês	0,36	PEREIRA, HIGA & SHIMIZO (2003)
<i>Pinus merkusii</i>	0,458	SIQUEIRA et al. (2001)
Araucária	0,425	MATTOS et al. (2006)
Imbuia	0,500	MARCHESAN et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,479	PEREIRA et al. (2000)
Bambu	0,703	BRITO, TOMAZELLO FILHO & SALGADO (1987)

O poder calorífico, a quantidade de energia liberada durante a combustão na forma de calor, divide-se em superior, em que a combustão é realizada com o volume constante e a água formada é condensada, e inferior, que consiste na energia disponível

por unidade de massa de combustível após retirar as perdas com a evaporação da água (JEKINS et al., 1998). A Tabela 2.3 apresenta o poder calorífico superior de algumas biomassas.

TABELA 2.3: Poder calorífico superior (PCS) de algumas biomassas.

Material	PCS (Kcal*Kg <sup>-1</sup> )	Referência
Maravalha pinus	4864	PROTÁSIO et al. (2011)
Maravalha cedro	4756	PROTÁSIO et al. (2011)
Bagaço de cana-de-açúcar	4511	PROTÁSIO et al. (2011)
Polpa celulósica de bambu	4192	PROTÁSIO et al. (2011)
Casca de arroz	3863	PROTÁSIO et al. (2011)
Casca de cedrinho japonês	4396	PEREIRA, HIGA & SHIMIZO (2003)
Madeira de cedrinho japonês	4687	PEREIRA, HIGA & SHIMIZO (2003)
<i>Pinus merkusii</i>	4602	SIQUEIRA et al. (2001)
Araucária	4670	MATTOS et al. (2006)
Imbuia	4670	MARCHESAN et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	4340	PEREIRA et al. (2000)
Bambu	4458	BRITO, TOMAZELLO FILHO & SALGADO (1987)

O teor de cinzas, uma das principais características analisadas na biomassa para fins energéticos, indica o conteúdo de minerais presentes na composição da biomassa, correspondendo à porcentagem de material inerte durante a queima, não contribuindo para a produção de calor (FLORES & YAMAJI, 2009). Dessa forma, a quantificação do teor de cinzas pode direcionar o melhor uso de um briquete, ou seja, a que ramo de atividade esse material pode ser mais indicado. A Tabela 2.4 apresenta os teores de cinza médios de algumas biomassas.

TABELA 2.4: Teor de cinzas de algumas biomassas.

Material	% Teor Cinzas	Referência
Endocarpo de Babaçu	1,94	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Endocarpo de Macaúba	0,97	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Madeira de Eucalipto	0,23	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Bambu gigante	1,09	MARINHO et al. (2012)
<i>Pinus oocarpa</i>	1,26	MORAES et al. (2005)
<i>Brachiaria</i> spp.	8,80	FLORES & YAMAJI (2009)
<i>Saccharum officinarum</i> (cana-de-açúcar)	3,00	FLORES & YAMAJI (2009)

O alto teor de cinzas pode ocorrer devido a contaminação do material por areia, por exemplo, o que pode inviabilizar alguns usos como fornos de pizza e aquecimento doméstico, levando a corrosão de queimadores e desgaste de equipamentos como tubos de caldeiras, pás de ventiladores e pulverizadores, agravando-se quando as cinzas contêm cloro e potássio, o que pode induzir a altas taxas de corrosão (FLORES & YAMAJI, 2009; HAMAGUCHI & VAKKALAINEN, 2010).

Outro parâmetro a ser observado é o teor de umidade, que quanto menor apresentar-se, maior será sua produção de calor por unidade de massa (FERNANDEZ et al., 2012). Porém, a água também pode facilitar a compactação, por isso sua quantidade deve ser controlada, entre 10 a 15%, pois seu excesso pode levar ao entupimento na alimentação do maquinário (DIAS et al., 2012).

O teor de lignina do material também está diretamente ligado ao potencial energético da biomassa devido a sua resistência térmica. A Tabela 2.5 apresenta os valores de lignina para alguns materiais lignocelulósicos.

TABELA 2.5: Teor de lignina de algumas biomassas.

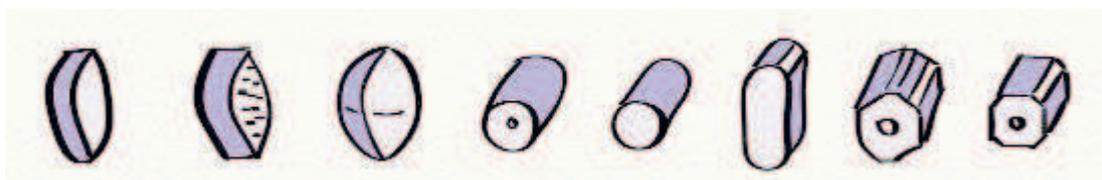
<b>Material</b>	<b>% Lignina</b>	<b>Referência</b>
Endocarpo de babaçu	27,9	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Endocarpo de macaúba	36,6	SILVA, BARRICHELO & BRITO (1986)
Bambu gigante	22,77	MARINHO et al. (2012)
<i>Pinus oocarpa</i>	25,18	MORAES et al. (2005)
Cedrinho japonês	32,7	PEREIRA, HIGA & SHIMIZO (2003)
<i>Pinus merkusii</i>	25,2	SIQUEIRA et al. (2001)
Araucária	27,8	MATTOS et al. (2006)
Imbuia	27,7	MARCHESAN et al. (2006)
<i>Eucalyptus grandis</i>	23,9	PEREIRA et al. (2000)

A resistência mecânica também deve ser considerada, pois é a partir dela que é determinada a altura máxima de empilhamento, o quanto se pode sobrepôr os briquetes no armazenamento sem que os mesmos se quebrem (DIAS, et al., 2012).

Além desses parâmetros, o formato e tamanho dos briquetes também constituem importante fator na sua confecção, devendo ser compatíveis com os equipamentos e fornos em que os mesmos serão utilizados. Os péletes apresentam diâmetros que variam

de 6 a 16 mm e comprimento de 25 a 30 mm, já os briquetes apresentam diâmetro de 50 a 100 mm e comprimento entre 250 a 400 mm (DIAS, et al., 2012). A FIG. 2.3 apresenta os principais formatos de briquetes comercializados.

FIGURA 2.3: Formatos mais comuns de briquetes.

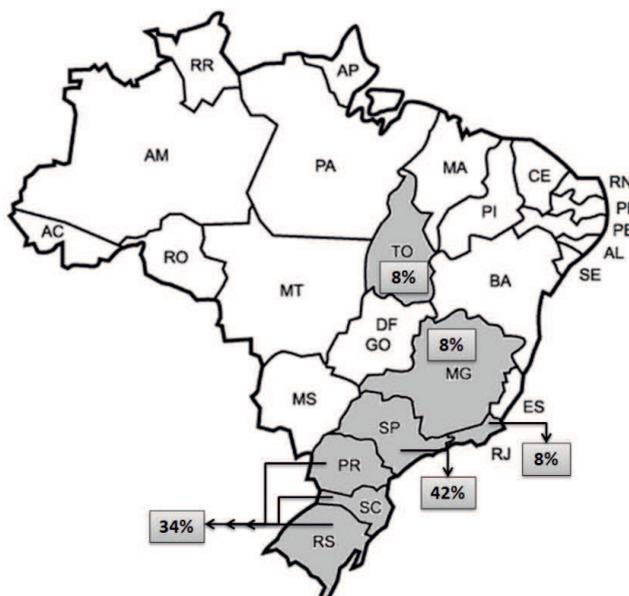


Fonte: Adaptado de Dias et al., 2012.

### 2.2.1. O mercado de briquetes

Embora não existam estatísticas oficiais no Brasil sobre a produção de briquetes, estimou-se que em 2008 haviam 80 empresas produtoras de briquetes e 12 produtoras de péletes, produzindo 960 mil toneladas de briquetes por ano. Devido a disponibilidade de biomassa e os custos com transporte, as empresas estão situadas em regiões específicas, especialmente nos estados do Paraná, Santa Catarina e São Paulo (FIG. 2.4), regiões que juntas somaram 73% dos resíduos madeireiros processados no país (DIAS et al., 2012).

FIGURA 2.4: Distribuição geográfica das empresas produtoras de briquetes.



Fonte: Adaptado de Dias et al., 2012.

Os custos da matéria prima variam muito de biomassa para biomassa, dependendo de sua disponibilidade, quantidade produzida, entre outros fatores. A Tabela 2.6 apresenta alguns valores da tonelada de biomassa sem o frete para o ano de 2014, a Tabela 2.7 apresenta o preço de venda de briquetes e péletes para o ano de 2014, sem inclusão do frete.

TABELA 2.6: Valores da tonelada de algumas biomassas.

<b>Biomassa</b>	<b>R\$ (tonelada)</b>
Serragem de pinus e eucalipto	50-60
Serragem seca	150-250
Casca de arroz	70-240
Finos de Carvão	100-150
Bagaço de cana-de-açúcar	35-50
Fibra de coco	150-250
Casca de babaçu	400-750

Fonte: site MF Rural, 2014.

TABELA 2.7: Valores da tonelada de alguns tipos de briquetes e pélete.

<b>Briquetes</b>	<b>R\$ (tonelada)</b>
Serragem	270-520
Casca de arroz	300
Finos de carvão	700-1000
Casca de algodão	170
Cana-de-açúcar	420
Pélete	368-700

Fonte: site MF Rural, 2014.

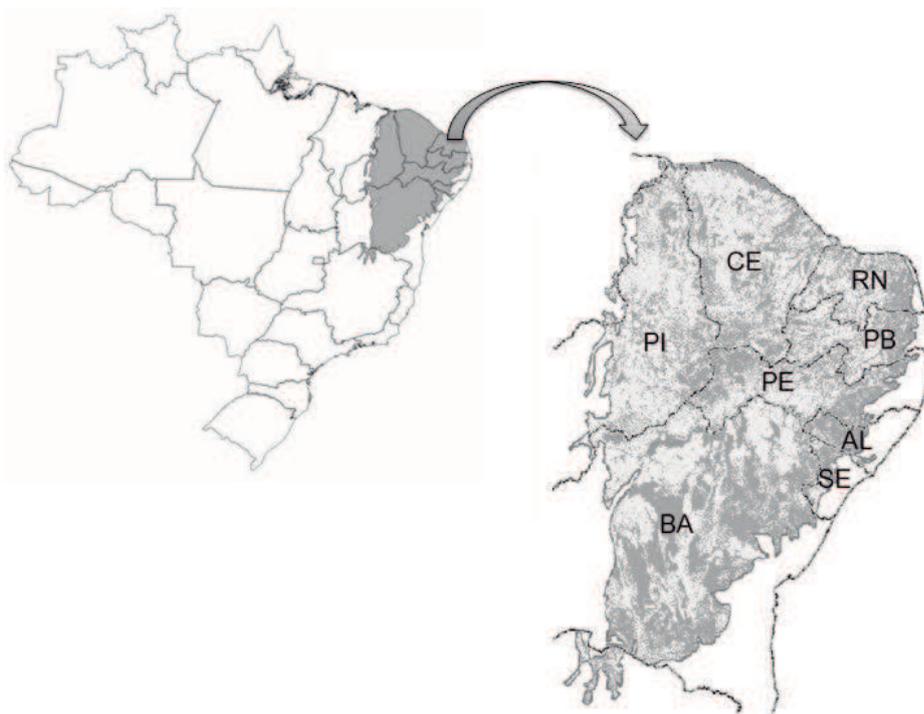
Embora as vantagens do uso de briquetes e péletes sejam inúmeras, a fragmentação do mercado dificulta sua expansão, com preços instáveis e sem grande escala de produção. Embora a concentração produtiva esteja nas regiões Sul e Sudeste do país, já existem iniciativas de empreendimentos nas regiões Norte e Nordeste, utilizando as biomassas disponíveis na região, como casca de castanha-do-pará, de babaçu, coco verde, entre outros (RISSI & GALDINO, 2011).

### 2.3 *Syagrus coronata*: Licuri

A *Syagrus coronata*, nome derivado do latim que significa “um tipo de palmeira”, é considerada uma das mais importantes espécies de palmeira da região semi-árida do nordeste brasileiro. É conhecida popularmente por Licuri, Licurizeiro, Oricuri e Coqueiro-cabeçudo, possui, além do potencial alimentício, ornamental e forrageiro, potencial energético (DRUMOND, 2007; LORENZI et al., 2004).

A palmeira está adaptada ao Bioma Caatinga (FIG. 2.5), o bioma menos estudado e protegido no país, com áreas de conservação inferiores a 2% de sua área total (LOPES, 2012). É uma área com precipitação anual variando de 430 a 800 mm, com altas temperaturas, solos de difícil manejo e uma população de 23 milhões de brasileiros dentro do Bioma (LOPES, 2012).

FIGURA 2.5: Representação do Bioma Caatinga.



Fonte: Adaptado de Associação Caatinga, 2014

Aperfeiçoar e incentivar o uso do Licuri pode contribuir na ascensão da qualidade de vida dessa população, não só na utilização dos seus frutos para alimentação humana, mas também conhecendo-se outros usos para a palmeira que levem a geração de renda para a população do semi-árido (KIILL, 2002).

O Licuri pertence à família Aracaceae, um dos grupos vegetais mais antigos e um dos maiores do mundo, apresentando aproximadamente 2.600 espécies em 240 gêneros diferentes, sendo outros exemplos de gêneros dessa família a *Euterpe*, a *Acrocomia* e a *Bactris*, com espécies típicas de ambientes tropicais como Ásia, Indonésia, América do Sul e América Central (LORENZI et al., 2004).

Os indivíduos dessa família são na maioria lenhosos e com sistema radicular subterrâneo. Suas flores são pouco atraentes, pequenas e não coloridas (LORENZI et al., 2004).

Segundo Rocha (2009) as palmeiras são, entre as monocotiledôneas, o segundo grupo mais importante economicamente, perdendo apenas para as gramíneas, sendo importante para economia de subsistência nas regiões Norte e Nordeste brasileira.

O gênero *Syagrus* é composto por 36 espécies e 30 delas estão presentes em solo brasileiro, sendo sete delas pertencentes ao Bioma Caatinga (LORENZI et al., 2004).

As características morfológicas do *Syagrus coronata* são a presença de estipe único com porte médio (FIG. 2.6), chegando a 10 m de altura e 25 cm de DAP (diâmetro a altura do peito), as folhas verde claras podem atingir até 3 metros de comprimento, arranjas em espiral no entorno da estipe (LORENZI et al., 2004).

FIGURA 2.6: *Syagrus coronata*.



É uma espécie monóica, com flores amarelo-claro e unissexuadas, contendo ambos os sexos na mesma planta (LORENZI et al., 2004). O fruto é uma drupa (FIG. 2.7), com exocarpo fibroso-tênuo, mesocarpo fibroso-mucilaginoso e endocarpo duro (MEDEIROS-COSTA, 1982). A infrutescência apresenta em média 375 frutos com comprimento e diâmetro médio de 2,7 cm e 2,1 cm respectivamente, sua frutificação se inicia após seis anos do plantio, podendo produzir até 2.000 Kg/ha /ano (CREPALDI et al., 2001; ROCHA, 2009).

FIGURA 2.7: Frutos com detalhe do endosperma.



Fonte: Rocha, 2009

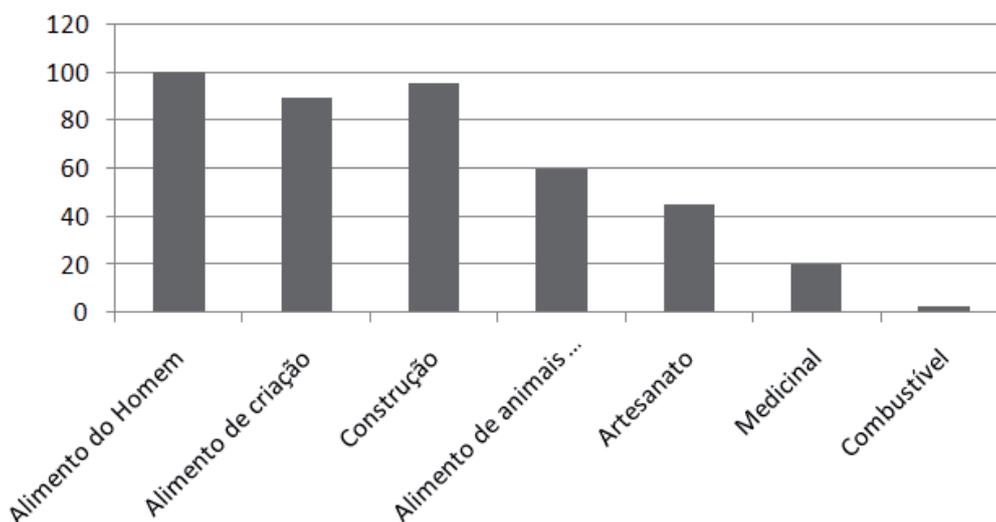
Distribui-se do norte de Minas Gerais até o sul de Pernambuco, abrangendo Bahia, Sergipe e Alagoas numa área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, sendo encontrados em maior concentração na Bahia, em especial nos municípios de Itiúba, Maracás, Milagres, Monte Santo, Santa Terezinha e Senhor do Bonfim (ROCHA, 2009; BRASIL. MIN, 2005). A Bahia é o estado que apresenta o maior volume de licurizeiros (BRASIL. MEC, 2005) com adensamento médio de 94 plantas por hectare, variando de 4 a 124 plantas por hectare (SANTOS-NETO & CAMANDARROBA, 2008).

Por poder ser aproveitada quase que por inteira, a palmeira tem grande importância sócio-econômica, sua amêndoa in natura pode ser utilizada para alimentação humana e de criações ou ser beneficiada para produção de saponáceos, cocada, óleo e leite de Licuri (DRUMOND, 2007).

As folhas são utilizadas em artesanatos como bolsas, vassouras e chapéus e também na cobertura de casas, além de auxiliarem na alimentação do gado nos períodos de seca (DRUMOND, 2007; LORENZI et al., 2004). Seu óleo pode ser utilizado na indústria de cosméticos e na produção de biodiesel. A cera das folhas pode ser utilizada na produção de papel carbono e graxas (LORENZI et al., 2004).

Em trabalho realizado por Rufino et al. (2008), em que foram entrevistadas famílias da região de Pernambuco que utilizam a palmeira de babaçu e de Licuri, apontou-se que o principal uso dentro da comunidade é a alimentação humana (FIG. 2.8), com 100% dos entrevistados afirmando que já utilizaram a palmeira de Licuri para esse fim, em contrapartida apenas 3% dos entrevistados apontaram a palmeira do Licuri como fonte combustível.

FIGURA 2.8: Usos do Licuri por uma comunidade pernambucana.



Fonte: Adaptado de Rufino et al., 2008

Já em trabalho realizado por Lopes (2012) em dois municípios de Alagoas, foi verificado que o principal uso do Licuri é de suas folhas na confecção de vassouras, e que a população mostra grande interesse em pesquisas sobre outras formas de utilização do Licuri a fim de elevar a renda local.

Por fim, segundo Drumond (2007), o Licuri, que apresenta em média 36% de óleo, vem despertando o interesse dos produtores rurais para produção de biodiesel. As folhas secas possuem alto teor de gordura e as cascas do Licuri são combustíveis, além disso, os cachos são utilizados para alimentar os fornos domésticos. Segundo Rissi e Galdino (2011) há inclusive interesse por parte da população em executar plantios da palmeira, como forma de investimento nessa nova oportunidade que pode se abrir.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizado neste trabalho foram a casca de Licuri (*Syagrus coronata*) e a palha de cana de açúcar.

A casca de Licuri (FIG. 3.1) foi obtida na comunidade de Caldeirão Grande – BA (FIG. 3.2), cidade com 13.555 habitantes, pertencente a microrregião de Jacobina, localizada na latitude 11°01'12"S e longitude 40°18'10"O, a 333 Km da capital Salvador, com clima tropical (As) na classificação de Koeppen, temperatura média de 23,7°C e precipitação média anual de 871 mm (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014; CLIMATE-DATA.ORG, 2014) . A coleta do fruto é realizada por 150 famílias da comunidade, visando principalmente a produção de óleo vegetal para indústrias de cosméticos, alimentícia e sabão em barra. Além da casca a comunidade enviou para análise a casca de Licuri já triturada utilizada na perfuração de poços.

FIGURA 3.1: Casca de Licuri não triturada.



Fonte: Próprio autor, 2014.

FIGURA 3.2: Localização de Caldeirão Grande-BA.



Fonte: Adaptado de Google MAPS, 2014.

A palha de cana-de-açúcar foi coletada em maio de 2014 na Fazenda Corredeira em Ibaté, interior de São Paulo (FIG. 3.3), cidade situada a  $21^{\circ}34'S$  de latitude e  $47^{\circ}35'O$  de longitude, com clima subtropical úmido (Cwa) pela classificação de Koeppen, temperatura média de  $20,4^{\circ}C$  e precipitação média anual de 1500 mm (CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA, 2014).

FIGURA 3.3. Localização de Ibaté-SP.



Fonte: Adaptado de Google MAPS, 2014.

### 3.1 Caracterização Energética da casca de *Syagrus coronata*

A caracterização do material foi dada pela determinação do teor de umidade, densidade a granel, granulometria, análise imediata, poder calorífico, teor de extrativos em ciclohexano/etanol, teor de extrativos em água quente e extrativos totais, lignina Klason e análise termogravimétrica. O teor de umidade foi obtido a partir de balança de umidade Marconi ID 200 tanto para a casca inteira quanto para seu pó, a partir de 1 g do material com três repetições.

Para a densidade a granel foi utilizada uma proveta de 1000 ml, acrescentou-se o material já seco na proveta até o seu volume total conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6922. Tal procedimento foi realizado seis vezes, obtendo-se a média dos valores tanto para a casca inteira quanto para a casca triturada e efetuando-se o cálculo da densidade conforme Equação 3.

$$Densidade = \frac{massa}{volume} \quad (\text{Equação 3})$$

Para os teores de cinzas, voláteis e carbono fixo foi utilizada a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8112/86. O material foi moído em moinho Willey MA-340 e peneirado em agitador orbital, obtendo-se o material que passou pela peneira de 35 mesh a fim de se obter o pó para execução dos procedimentos.

Para o teor de cinzas utilizou-se 1g de amostra com mufla a  $\pm 600^{\circ}\text{C}$  por 3 horas e para o teor de voláteis também 1g de amostra, porém com mufla a  $\pm 900^{\circ}\text{C}$  por 3 minutos com a porta aberta e mais 7 minutos com a porta fechada, sendo o procedimento repetido seis vezes para ambas as análises, tanto para o material inteiro e triturado em laboratório, quanto para o material triturado pela comunidade. O teor de carbono fixo foi obtido pela subtração da soma entre teor de cinzas e teor de voláteis do total (Equação 4).

$$C_{fixo} = 100 - (\%Cinzas + \%Voláteis) \quad (\text{Equação 4})$$

Realizou-se a análise granulométrica com uma amostra de 100g e a pesagem de cada amostra retida nas peneiras de 5, 10, 20, 35, 60 mesh e fundo, conforme NBR 7217, utilizando agitador orbital modelo MA 750. O poder calorífico superior das amostras foi obtido a partir da metodologia proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8633/84 a partir de 1g de material seco e com duas repetições, realizada em Bomba Calorimétrica IKA modelo C200.

Para a densidade e os teores de cinza e voláteis, foi realizada ANOVA a 95% de probabilidade para verificar se havia diferença significativa entre as amostras a partir do software estatístico R Development Core Team (2011).

Para a obtenção de extrativos em ciclohexano/etanol o material foi submetido à extração em sistema Soxhlet empregando-se uma mistura de ciclohexano/etanol (1:1, v/v) segundo a norma da Technical Association of Pulp and Paper Industry TAPPI T204 cm-97. Foram utilizados nove envelopes confeccionados de papel filtro contendo, aproximadamente, 1,0g de amostra seca cada um e com granulometria retida em peneira de 60 mesh (0,25 mm), mantendo-se a extração por um total de 13 horas. Em seguida, as amostras foram retiradas do extrator e levadas à estufa a 105 °C para secagem.

O conteúdo de extrativos ( $\%Ext_{\text{ciclohexano/etanol}}$ ) foi determinado pela diferença em massa do material seco antes e depois do processo de extração. O percentual de extrativos solúveis em ciclohexano/etanol foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$\%Ext_{\text{ciclohexano/etanol}} = \frac{(m1 - m2)}{m1} \times 100 \quad \text{(Equação 5)}$$

5)

Onde:

m1 = massa da amostra de resíduo seco antes da extração

m2 = massa da amostra de resíduo seco após a extração

Para a determinação do teor de extrativos solúveis em água quente ( $\%Ext_{H_2O}$ ) utilizou-se béquer, chapa aquecedora e água destilada, conforme a norma da Technical Association of Pulp and Paper Industry TAPPI T204 cm-97. Empregou-se os envelopes de papel filtro resultantes da extração por ciclohexano/etanol por um período total de extração de 8 horas.

Ao término da extração, os envelopes foram levados à estufa sob temperatura de 105°C para secagem. O conteúdo de extrativos foi determinado pela diferença em massa do material seco antes e depois do processo de extração conforme Equação 6.

$$\%Ext_{H_2O} = \frac{(m1 - m2)}{m1} \times 100 \quad \text{(Equação 6)}$$

6)

Onde:

m1 = massa da amostra de resíduo seco antes da extração

m2 = massa da amostra de resíduo seco após a extração

Para a determinação do teor de extrativos totais, somou-se os valores obtidos da extração por ciclohexano/etanol com os obtidos a partir da extração por água quente.

O teor de lignina foi obtido a partir da norma da Technical Association of Pulp and Paper Industry TAPPI T222 cm-97 em triplicata, a partir de 1 g de material retido na peneira de 60 mesh e já sem os extrativos. A hidrólise foi realizada com 15ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% por 2 horas, a solução foi transferida para um balão de refluxo, diluindo a solução ácida para 3% e mantendo o refluxo por 4 horas. Após o resfriamento a lignina foi filtrada e seca em estufa a 105°C, então o teor de lignina foi obtido a partir da equação 7.

$$\%Lignina = \frac{m1}{m2} \times 100 \quad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

m1 = massa da amostra de resíduo seco antes da extração

m2 = massa da amostra de resíduo seco após a extração

Por fim, realizou-se análise termogravimétrica (TG) em equipamento DSC Q600 para determinação dos mecanismos de degradação térmica, com intervalo de temperatura entre 30 °C e 800 °C, razão de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> e em fluxo de ar sintético de 120 mL.min<sup>-1</sup>. Com os dados obtidos na análise foi construído o gráfico de massa em função da temperatura utilizando o software Universal Thermal Analysis.

### 3.2 Confeção e teste dos briquetes

Foram confeccionados briquetes com cinco composições distintas a fim de compará-los entre si e definir a melhor composição (Tabela 3.1).

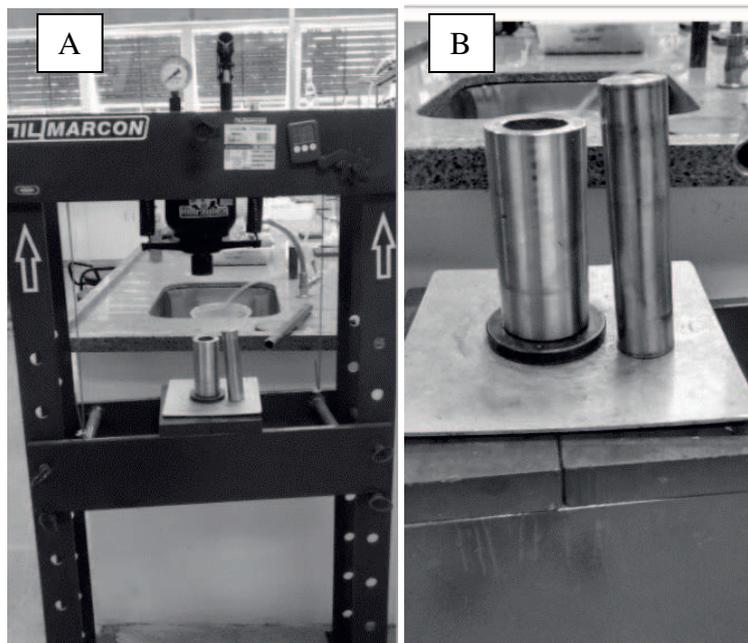
TABELA 3.1. Composição dos briquetes.

<b>Tratamento</b>	<b>% Casca de Licuri</b>	<b>% Palha de cana-de-açúcar</b>
T1	100	0
T2	75	25
T3	50	50
T4	25	75
T5	0	100

Para a confecção dos briquetes de palha de cana-de-açúcar, o material foi seco em estufa, moído em moinho, peneirado e seco novamente em estufa até atingir 12% de umidade. Para a casca de Licuri o material foi moído, peneirado e corrigido seu teor de umidade para 12%, acrescentando água aos poucos ao material.

A granulometria utilizada para a fabricação dos briquetes foi a fração retida na peneira de 35 mesh. O processo de briquetagem foi realizado por meio de prensa hidráulica Marcon MPH-15 a 12 toneladas e com o auxílio de moldes de 852,66 mm de diâmetro e 941,92 mm de altura (FIG. 3.4), sendo a massa de composição de 20 g, tempo de prensagem de 30 s e confeccionando-se um total de 15 briquetes para cada tratamento.

FIGURA 3.4: Prensa hidráulica (A) e moldes (B) para confecção de briquetes.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Com o paquímetro, mediu-se o diâmetro e a altura de dez briquetes de cada tratamento a fim de se calcular seu volume, além de formar a curva de dilatação do material a partir da medição imediata, após 1, 2, 6, 24 e 48 horas de sua confecção. Os cinquenta briquetes de foram então submetidos a ensaio mecânico de resistência a tração por compressão diametral na EMIC DL 30000N com velocidade de  $3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , assim como realizado por Gonçalves et al. (2012), sendo medidos imediatamente antes do ensaio, realizado uma semana após a confecção dos mesmos. Foi realizada ANOVA e Teste de Tukey a 95% de probabilidade utilizando o software R Development Core Team (2011).

Realizou-se, então, o ensaio de tamboramento com os cinco briquetes restantes de cada tratamento, colocando-os em uma caixa com dimensão de 50x50x10 cm e rotacionando o equipamento por 14 minutos a uma velocidade média de 55 voltas por minuto, assim como realizado por Gonçalves et al. (2012). Foi medida a massa dos briquetes antes do ensaio e após o ensaio mediu-se a massas dos pedaços restantes, a fim de se calcular a porcentagem de perda de material (Equação 1).

$$\%Perda = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,  $M_f$  é a massa perdida após o ensaio e  $M_i$  a massa inicial dos briquetes.

Por fim, efetuou-se o cálculo da densidade energética a partir dos dados de densidade e poder calorífico superior obtidos tanto para a casca de Licuri quanto para os briquetes formados apenas pela casca de Licuri (T1), conforme Equação 2.

$$\rho_{\text{energética}} = \rho * PCS \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,  $\rho_{\text{energética}}$  corresponde a densidade energética,  $\rho$  a densidade da casca obtida no item 3.1 e a densidade do briquete, PCS corresponde ao poder calorífico superior da casca de Licuri.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão divididos em dois tópicos, o primeiro com os resultados da caracterização da casca de Licuri e o segundo com os da briquetagem realizada tanto com o Licuri quanto com a palha de cana-de-açúcar.

### 4.1. Caracterização do *Syagrus coronata*

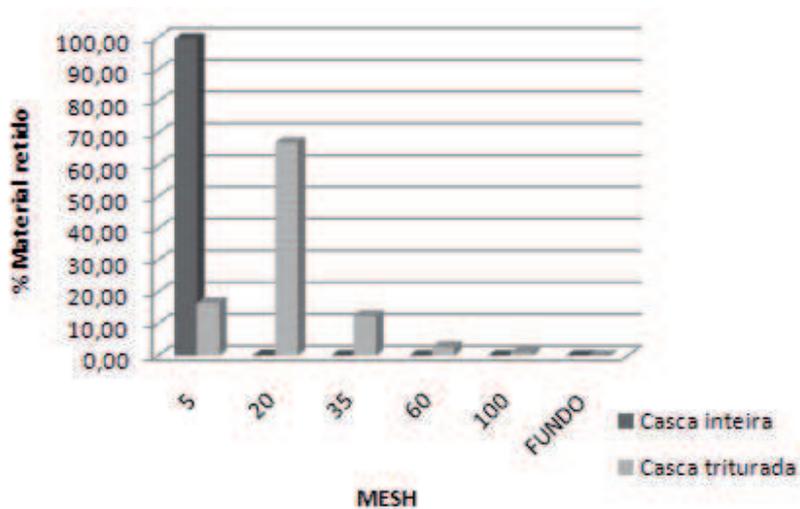
#### 4.1.1 Análise granulométrica

A Tabela 4.1 e a FIG. 4.1 apresentam os resultados obtidos a partir da análise granulométrica.

TABELA 4.1. Análise granulométrica da casca de Licuri inteira e triturada.

Peneira (MESH)	% Retida por Peneira	
	Casca inteir	Casca tritura
5	99,71	16,60
20	0,13	67,02
35	0,06	12,51
60	0,07	2,81
100	0,03	0,97
FUNDO	0,00	0,09

FIGURA 4.6: Distribuição granulométrica da amostra de Casca de Licuri não triturada e da amostra de Casca de Licuri triturada.



Fonte: Próprio autor, 2014.

Como é possível observar, para a amostra de casca de Licuri, quase 100% da amostra ficou retida na peneira de 5 mesh (99,71%), já para a amostra de casca de Licuri triturada, a peneira de 20 mesh foi a mais representativa (67,02%).

#### 4.1.2. Teor de umidade

O teor de umidade dos materiais está apresentado na Tabela 4.2, sendo de 4,1% para a casca de Licuri em pó e 11,1% para a casca de Licuri inteira. É importante ressaltar que o material levou 15 dias para chegar até o laboratório e o ensaio foi realizado 30 dias após sua chegada. O teor de umidade da casca inteira mostrou-se 2,7 vezes maior que o teor de umidade do pó, uma possível razão para tal diferença é justamente o tamanho da partícula, que dificulta a perda de água para o ambiente.

TABELA 4.2: Teores de umidade verificados nas amostras de material.

<b>Material</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
<b>Casca triturada</b>	5,1 ± 0,98
<b>Casca inteira</b>	11,1 ± 1,31

Quirino (2002) recomenda que a umidade para materiais que serão utilizados na queima devam possuir teor de umidade variando de 8 a 12%, o que é observado nas duas formas do material, tornando-os atrativos para queima quando o quesito avaliado é a umidade. Além disso, o valor observado para a casca inteira foi próximo ao valor observado por Lobão et al. (2004) de 12,47% para madeira de eucalipto.

#### 4.1.3. Densidade a granel

Quanto maior for a densidade do material, maior é a quantidade de energia estocada por unidade de área, interferindo na logística e estoque do material (Quirino et al., 2004), assim a propriedade densidade torna-se importante para materiais com potencial energético. A densidade a granel tanto da casca quanto da casca triturada estão apresentadas na Tabela 4.3.

O valor observado para a casca triturada ( $0,619 \text{ g.cm}^{-3}$ ) é compatível com o valor observado na literatura, já a casca inteira ( $0,387 \text{ g.cm}^{-3}$ ) o valor observado está abaixo ao verificado na literatura, como por exemplo o endocarpo de babaçu ( $1,085 \text{ g.cm}^{-3}$ ), o bambu ( $0,703 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e o *Eucalyptus grandis* ( $0,479 \text{ g.cm}^{-3}$ ) como observado por Silva, Barrichelo e Brito (1986), Brito, Tomazello Filho e Salgado (1987) e Pereira et al. (2000).

TABELA 4.3: Densidade verificada nas amostras de material.

<b>Material</b>	<b>Densidade (<math>\text{g.cm}^{-3}</math>)*</b>
<b>Casca inteira</b>	$0,387 \pm 0,015$
<b>Casca triturada</b>	$0,619 \pm 0,028$

\*Teor de umidade dado na Tabela 4.8

A partir da ANOVA a 95% de probabilidade (Tabela 4.4), pode-se concluir que houve diferença significativa na densidade entre os materiais casca inteira e casca triturada, sendo maior na casca triturada, uma vez que as partículas menores, observadas na análise granulométrica em maior quantidade para a casca triturada, agrupam-se com maior facilidade.

TABELA 4.4: Resultado da ANOVA realizada para a densidade.

<b>Causas da variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	1	0,1810	0,1810	415,7
<b>Resíduo</b>	10	0,0004	0,0004	
<b>Total</b>	11			

#### 4.1.4. Poder calorífico

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi obtido da casca inteira após trituração e compactação. O valor médio obtido de  $4652 \pm 18 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$  pode ser considerado compatível e ligeiramente mais elevado quando comparado a outras biomassas como o bagaço de cana-de-açúcar ( $4511 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ ) e a maravalha de Eucalipto ( $4572 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ ) observados por Protásio et al. (2011) e o bambu ( $4458 \text{ Kcal.Kg}^{-1}$ ) observado por Brito, Tomazello Filho e Salgado (1987), tornando a casca de Licuri atrativa para a produção de energia em termos de quantidade de energia liberada na combustão.

#### 4.1.5. Teores de cinzas, voláteis e carbono fixo

Os teores de cinza, voláteis e carbono fixo estão apresentados na Tabela 4.5. A partir do Box Plot foi possível observar que nenhum dos tratamentos, tanto para o teor de cinzas quanto para o teor de voláteis, apresentou *outliers*, ou seja, não houve discrepância dos dados.

TABELA 4.5: Teor de cinzas, voláteis e carbono fixo para as amostras de material.

Material	Teor Cinzas (%)	Teor Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)
Casca inteira	3,9 ± 1,42	74,91 ± 5,55	21,19
Casca triturada	7,38 ± 2,45	75,73 ± 4,52	16,89

Os resultados obtidos para os teores de cinzas, voláteis e carbono fixo mostraram-se muito próximos ao valor observado por Vale et al. (2004) com amostras de coco-da-baía (3,8% de cinzas, 75,1% para teor de voláteis e 21,1% para carbono fixo), porém o teor de cinzas mostra-se elevado quando comparados a outras biomassas como o endocarpo de babaçu (1,94%), a casca de castanha do Pará (1,88%) e o bambu gigante (1,09%) (Silva et al., 1986; Feitosa Netto et al., 2006; Marinho et al., 2012).

O teor de cinzas pode desfavorecer o material quando seu destino for a queima, uma vez que o excesso de cinzas pode aderir as tubulações e paredes dos equipamentos, prejudicando o processo da queima (Hamaguchi e Vakkalainen, 2010).

A partir da ANOVA a 95% de probabilidade (Tabela 4.6), pode-se concluir que houve diferença significativa entre as amostras para o teor de cinzas sendo o pó o que apresentou o maior teor de cinzas (7,38%), o que pode ser justificado por impurezas da amostra uma vez que o armazenamento do material em campo pode não ter sido o mais correto.

TABELA 4.6: Resultado da ANOVA realizada para o teor de cinzas.

Causas da variação	Graus de Liberdade	SQ	QM	F
Tratamento	1	89,92	89,92	<b>25,46</b>
Resíduo	10	35,31	3,53	
Total	11			

Para o teor de voláteis e carbono fixo a casca de Licuri mostrou-se com valores próximos aos reportados por Feitosa Netto et al. (2006) para as cascas de castanha do pará (teor de voláteis 71,08% e carbono fixo 27,07) e casca de nozes (teor de voláteis 75,86% e carbono fixo 22,49%), tal resultado aponta para uma queima mais lenta da casca de Licuri e menor emissão de gases (Oberberger e Thek, 2004).

Para o teor de voláteis (Tabela 4.7) também houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo a casca triturada a que apresentou a maior porcentagem.

TABELA 4.7: Resultado da ANOVA realizada para o teor de voláteis.

Causas da variação	Graus de Liberdade	SQ	QM	F
<b>Tratamento</b>	1	174,80	174,80	10,83
<b>Resíduo</b>	10	161,31	16,13	
<b>Total</b>	11			

#### 4.1.6. Teor de extrativos e lignina

Os extrativos em ciclohexano/etanol, em água quente e extrativos totais, bem como o teor de lignina Klason estão apresentados na Tabela 4.8. Como pode ser observado o teor de extrativos em água quente foi elevado quando comparado ao *Pinus oocarpa* (4,31%), ao bambu gigante (9,62%) e ao bagaço de cana-de-açúcar (16,68%), verificados por Moraes et al. (2005), Marinho et al. (2012) e Santos et al. (2014), porém mostrou-se compatível ao observado por Corradini et al. (2009) com fibras de coco verde, em torno de 40%.

TABELA 4.8. Extrativos em ciclohexano/etanol, em água quente e teor de lignina Klason para casca de Licuri.

Teor de Extrativos em Água Quente (%)	Teor de Extrativos em Ciclohexano/etanol (%)	Teor de Extrativos Totais (%)	Teor de Lignina (%)
28,46±0,41	18,29±2,79	46,75	36,86±2,6

Para o teor de extrativos totais o valor observado também mostrou-se elevado quando comparado ao endocarpo de babaçu (7,8%) e ao bambu gigante (9,2%) (Silva, Barrichelo e Brito, 1986; Marinho et al., 2012), porém mostrou-se baixo quando comparado a casca de coco verde (72,17%) observado por Brigida e Rosa (2003). O alto teor de extrativos pode justificar o elevado poder calorífico da casca de Licuri, uma vez que os extrativos possuem conteúdos energéticos em suas moléculas, que são liberadas na combustão (Jara, 1989).

Para o teor de lignina, o valor observado mostrou-se elevado em comparação a outras biomassas, como o endocarpo de babaçu (27,9%), o bambu gigante (22,7%) e as madeiras de *Eucalyptus grandis* (23,9%) e *Pinus oocarpa* (25,1%), observados por Silva, Barrichelo e Brito (1986), Marinho et al. (2012), Pereira et al. (2000) e Moraes et al. (2005).

O elevado teor de lignina é indicador de um material com potencial energético, pois é dela a grande contribuição na produção de energia dos biocombustíveis e devido a sua resistência térmica, proporciona uma queima mais lenta do material (Jara, 1989).

#### 4.2.7. Análise térmica

A análise termogravimétrica (TG) é utilizada para caracterizar o perfil da degradação térmica de materiais podendo ser usada na quantificação de componentes químicos, como o teor de lignina e a sua influência na combustão do material quando associada a análise termogravimétrica diferencial (DTG) (CARRIER et al. 2011; SEBIO-PUÑAL et al., 2012). A análise térmica permite ainda definir faixas de temperatura a serem utilizadas na combustão ou carbonização de materiais, aumentando assim a eficiência energética (COSTA et al., 2004).

Como pode ser observado na FIG. 4.2, para a casca de Licuri, a curva TG apresenta quatro patamares (I, II, III e IV), assim como também foi observado por Pires (2013) para amostras de pinus e eucalipto. Tabela 4.9 resume os patamares observados.

FIGURA 4.2. Curvas TG para casca de Licuri com quatro patamares (I, II, III, IV) e curva DTG para casca de Licuri com pico de decomposição (A) e ombro de decomposição da celulose (B).

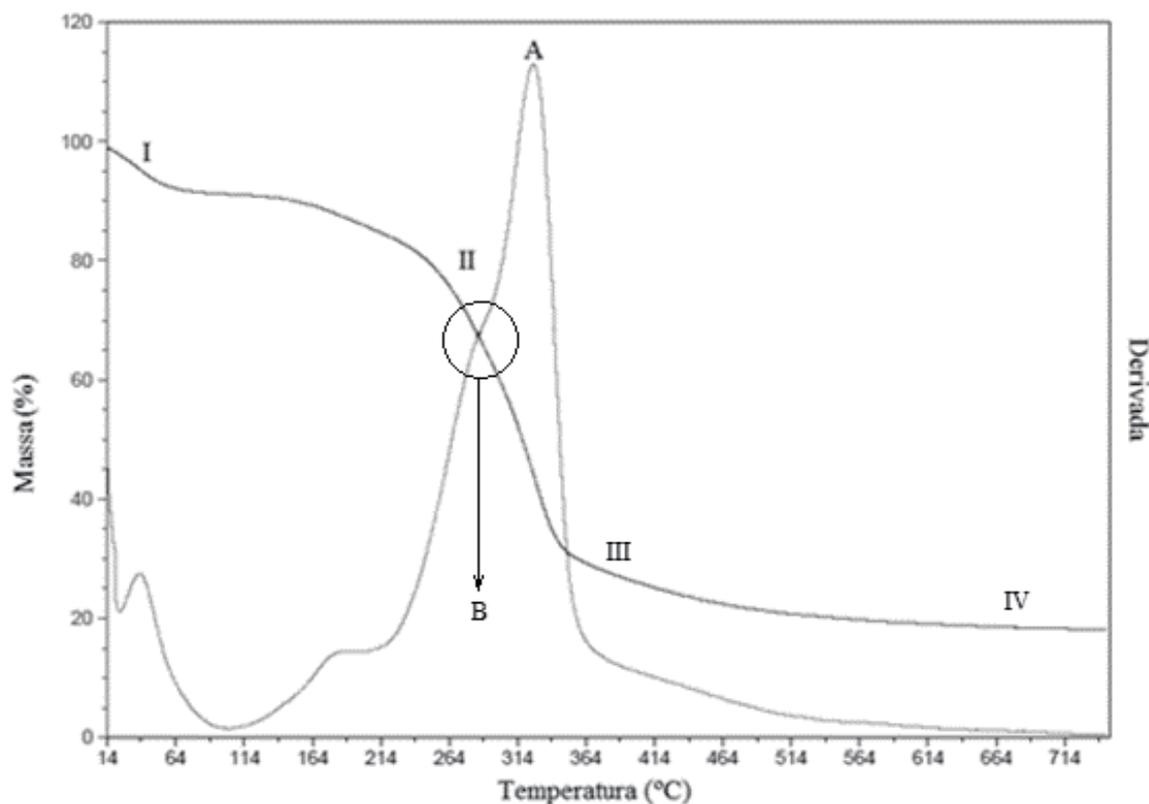


TABELA 4.9: Faixa de temperatura e perda de massa para os patamares da análise termogravimétrica.

Patamar	Faixa de Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)
I	14 - 120	8
II	121 - 350	59
III	351 - 464	9
IV	465 - 764	5

O patamar I corresponde a perda de água livre da amostra e produtos orgânicos mais voláteis, enquanto o patamar II corresponde a decomposição de produtos menos voláteis, típicos de materiais compostos por celulose, hemicelulose e lignina, por fim, o patamar III corresponde a carbonização do material e o patamar IV representa o teor de cinzas da amostra (CARRIER et al., 2011).

O patamar I, até 120 °C apresentou perda de 8% de massa, seguido do patamar II, variando de 154 a 350 °C com perda de massa de 59%, patamar III de 351 a 464 °C com 9% de perda de massa e o patamar IV com perda de 5% de massa, correspondente ao teor de cinzas. Tal resultado assemelha-se ao reportado por Corradini et al. (2009) com fibra de coco verde, com perda de 4,1% de massa para o patamar I e de 65,9% para o patamar II, diferindo-se a partir do patamar III, que apresentou perda de massa de 20%.

O resultado também assemelha-se ao reportado por Pires (2013) com serragens de pinus e eucalipto apresentando perda de massa entre 3 e 8% para o patamar I, a temperatura final do patamar foi o mesmo, 120°C, justificado pela temperatura de ebulição da água. O patamar II também apresentou perda de massa e faixa de temperatura próximos aos reportados por Pires (2013), diferenciando-se os patamares III e IV, no patamar III a perda de massa e a faixa de temperatura apresentaram-se inferiores aos reportados por Pires (2013), já para o patamar IV a perda de massa foi superior e a faixa de temperatura inferior ao reportado.

A diferença a partir desses patamares pode justificar o alto teor de cinzas obtido a partir da curva TG quando comparado ao teor de cinzas obtido na análise imediata (de 3,9% para 18%). Tal resultado pode ser atribuído ao material de composição heterogênea e a uma amostra muito reduzida utilizada na análise termogravimétrica, não sendo assim, representativa.

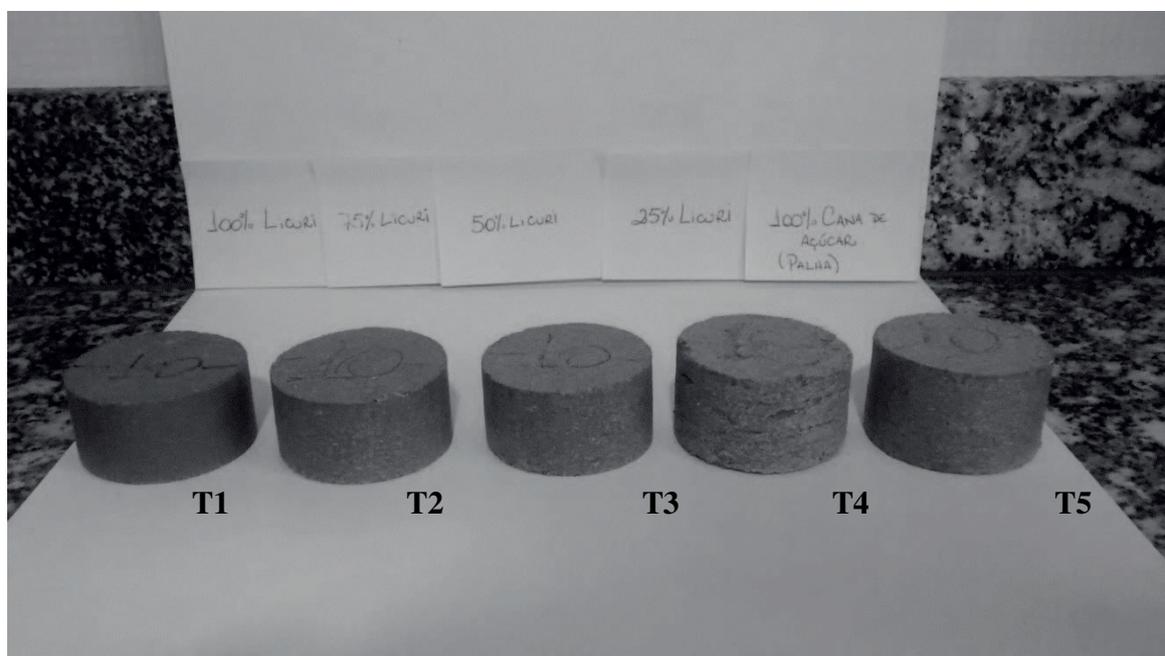
Pela curva DTG foi possível verificar que o pico da decomposição se dá 314°C com perda de 50% da massa (Letra A, FIG. 4.7), próximo ao observado por Corradini et al. (2009) para fibras de coco verde (325°C) e um pouco inferior ao reportado por Pires (2013) para serragem de pinus e eucalipto (382 e 383°C), o pico representa a degradação da lignina, que ocorre entre 300 a 500 °C (CARRIER et al., 2011).

O ombro observado a 290 °C (Letra B, FIG. 4.7) indica a degradação da celulose que ocorre entre 300 a 350 °C (CARRIER et al., 2011) e apresenta temperatura próxima porém diferente do reportado por Pires (2013) para as serragens de pinus e eucalipto (308 e 315°C), a diferença de temperatura se dá pela grande diversidade de ligações da hemicelulose (SEBIO-PUÑAL et al., 2012).

## 4.2. Confeção e teste dos briquetes

Os briquetes confeccionados com 100% Casca de Licuri (T1), 100% de Palha de cana-de-açúcar (T5), 75% Casca de Licuri mais 25% Palha de cana-de-açúcar (T2), 75% Palha de cana-de-açúcar mais 25% Casca de Licuri (T4) e 50% Casca de Licuri mais 50% Palha de cana-de-açúcar (T3) estão apresentados nas FIG. 4.3.

FIGURA 4.3: Briquetes dos tratamentos T1- 100% Casca de Licuri, T2 - 75% Casca de Licuri + 25% Palha de Cana , T3 - 50% Casca de Licuri + 50% Palha de Cana, T4 - 25% Casca de Licuri e 75% Palha de Cana e T5 - 100% Palha de Cana.

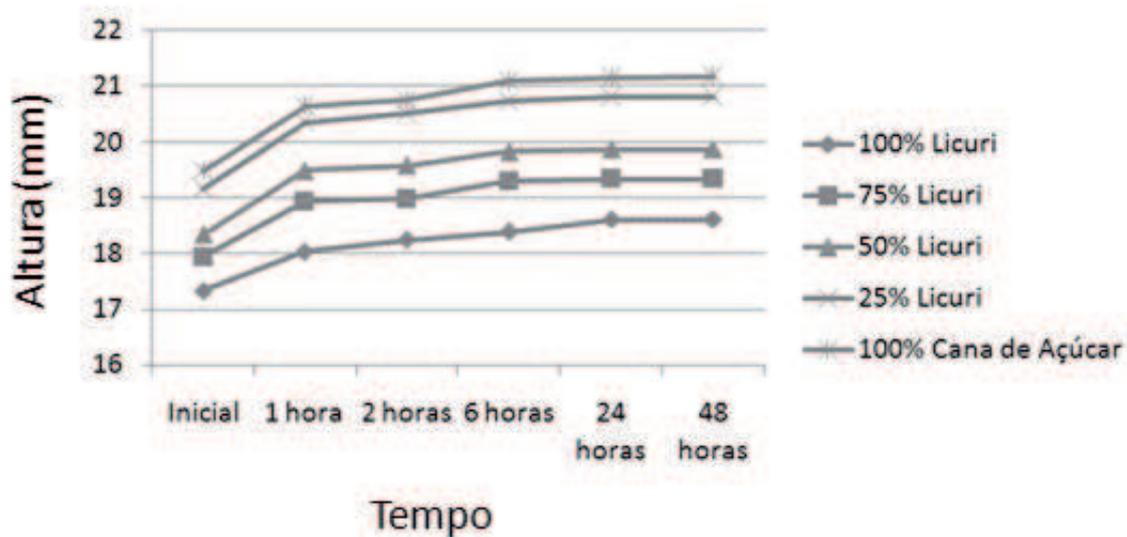


Fonte: Próprio autor, 2015.

### 4.2.1. Análise da expansão

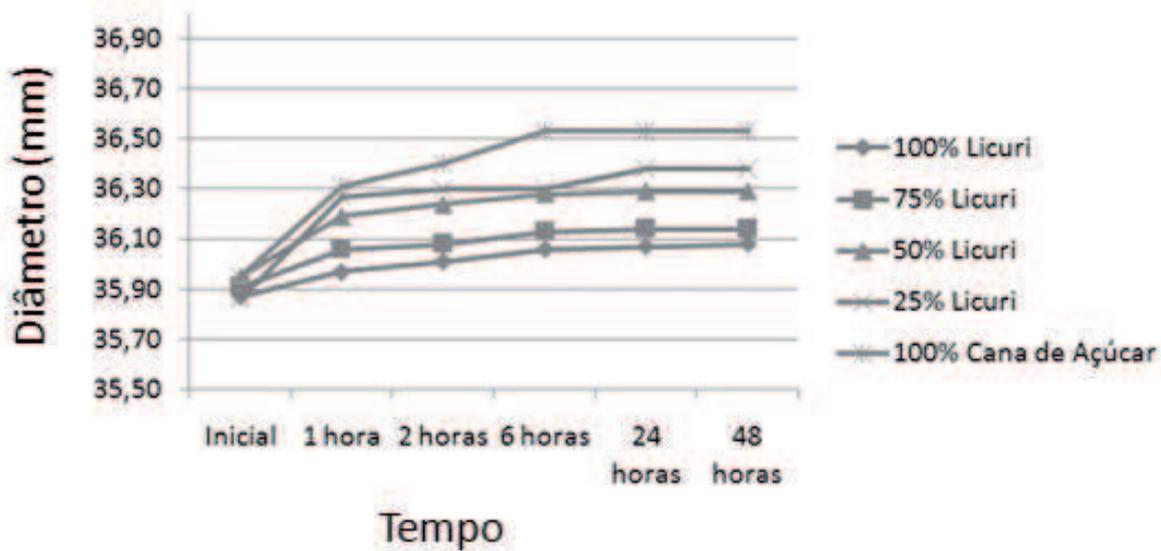
Os briquetes foram medidos e a expansão da altura (longitudinal) e do diâmetro em relação ao tempo de prensagem estão apresentadas na FIG. 4.4 e FIG. 4.5, bem como seus respectivos valores médios na Tabela 4.10.

FIGURA 4.4: Expansão longitudinal dos briquetes no decorrer de 48 horas.



Fonte: Próprio autor, 2015.

FIGURA 4.5: Expansão do diâmetro dos briquetes no decorrer de 48 horas.



Fonte: Próprio autor, 2015.

TABELA 4.10: Valores médios da expansão longitudinal e do diâmetro dos briquetes.

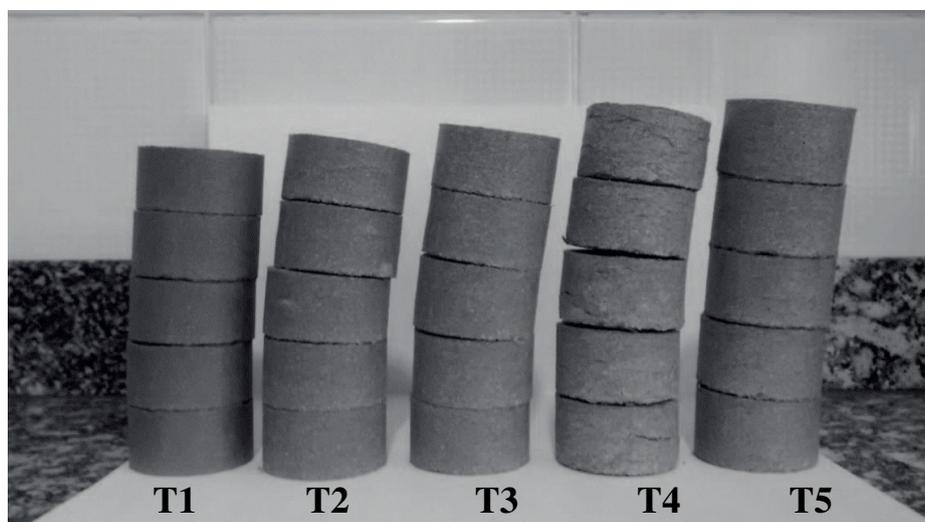
Tratamento	Média da Expansão Longitudinal (%)	Média da Expansão Diâmetro (%)
T1 - 100% Licuri	7,45 ± 0,58 A	0,56 ± 0,19 A
T2 - 75% Licuri + 25% P. cana-de-açúcar	7,73 ± 0,72 AB	0,64 ± 0,23 AC
T3 - 50% Licuri + 50% P. cana-de-açúcar	8,38 ± 0,75 AB	0,95 ± 0,27 C
T4 - 25% Licuri + 75% P. cana-de-açúcar	8,58 ± 1,19 AB	1,45 ± 0,37 B
T5 - 100% Palha cana-de-açúcar	8,79 ± 0,91 B	1,61 ± 0,34 B

As letras A, B e C indicam resultado do Teste de Tukey

A expansão, tanto longitudinal quanto em diâmetro estabilizou após 24h da confecção dos briquetes, ou seja, após 24h de sua confecção os briquetes não apresentaram mais alterações em suas dimensões, resultado diferente do observado por Chrisostomo (2011) para briquetes de serragem de pinus e eucalipto que tiveram sua estabilização após 12h.

A expansão longitudinal e em diâmetro (FIG. 4.6) apresentaram diferença estatisticamente significativa como pode ser observado pela ANOVA a 95% de probabilidade (Tabela 4.11 e 4.12). Para a expansão longitudinal, o tratamento com 100% palha de cana de açúcar diferenciou-se do tratamento com 100% casca de Licuri, mas os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa. Os briquetes T5 apresentaram a maior expansão ( $8,79 \pm 0,91\%$ ) e T1 apresentaram a menor expansão ( $7,45 \pm 0,58\%$ ), mostrando-se mais estáveis.

FIGURA 4.6. Briquetes após as 48h.



Fonte: Próprio autor, 2015.

TABELA 4.11: Resultado da ANOVA realizada para a expansão longitudinal.

<b>Causas da variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	4	10,421	2,605	<b>3,18</b>
<b>Resíduo</b>	35	28,649	0,818	
<b>Total</b>	39			

TABELA 4.12: Resultado da ANOVA realizada para a expansão em diâmetro.

<b>Causas da variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	4	8,9785	2,2446	<b>27,29</b>
<b>Resíduo</b>	45	3,7003	0,0822	
<b>Total</b>	49			

Para a expansão em diâmetro observou-se que o tratamento T1 difere-se dos demais, com exceção do tratamento T2, ambos apresentando a menor expansão média. Os tratamentos T4 e T5 não diferem-se estatisticamente entre si, apresentando a maior média de expansão em diâmetro, assim, os briquetes confeccionados com maior porcentagem de casca de Licuri (100 e 75%) mostram-se mais estáveis quanto a expansão diametral, característica de relevante importância no armazenamento e transporte do material.

A expansão longitudinal dos briquetes compostos integralmente pela casca de Licuri apresentou valor médio inferior ao reportado por Chrisostomo (2011) para briquetes de serragem de eucalipto (9,44%) e de serragem de pinus (10,76%).

Para a expansão diametral, Gonçalves et al. (2012) reportaram expansão média de 1,41%, também superior ao valor observado para os briquetes formados integralmente pela casca de Licuri, assim, os briquetes formados pela casca de Licuri mostram-se mais estáveis quanto a expansão, tanto longitudinal quanto diametral quando comparados a briquetes formados por outras biomassas.

#### 4.2.2. Determinação da densidade aparente

Foi determinada a densidade aparente de cada um dos tratamentos (Tabela 4.13) a partir do volume ao final das 48h. A densidade da casca de Licuri que era de  $0,387 \text{ g.cm}^{-3}$  apresentou um aumento de 2,7 vezes, inferior ao observado por Gonçalves et al. (2012) com briquetagem de serragem de eucalipto (em torno de seis vezes), porém a densidade da casca de Licuri antes da compactação já era três vezes mais elevada do que a de serragem de eucalipto.

TABELA 4.13. Densidade aparente média dos briquetes por tratamento.

<b>Tratamento</b>	<b>Densidade aparente média (<math>\text{g.cm}^{-3}</math>)</b>
T1 - 100% Licuri	$1,033 \pm 0,016 \text{ C}$
T2 - 75% Licuri + 25% P. cana-de-açúcar	$0,999 \pm 0,014 \text{ A}$
T3 - 50% Licuri + 50% P. cana-de-açúcar	$0,981 \pm 0,019 \text{ A}$
T4 - 25% Licuri + 75% P. cana-de-açúcar	$0,925 \pm 0,014 \text{ B}$
T5 - 100% Palha cana-de-açúcar	$0,919 \pm 0,030 \text{ B}$

As letras A, B e C indicam resultado do Teste de Tukey

Realizou-se análise estatística dos dados, primeiramente com Box Plot que não apresentou dados discrepantes, a ANOVA a 95% de probabilidade forneceu como resposta a diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4.14), realizando-se então o Teste de Tukey foi possível observar que o tratamento T1 diferenciou-se dos demais tratamentos, apresentando a maior densidade aparente, justificado pela maior densidade da casca de Licuri quando comparada a palha de cana-de-açúcar.

TABELA 4.14. Resultado da ANOVA realizada para a densidade aparente dos briquetes.

<b>Causas da variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	4	0,086	0,214	<b>55,26</b>
<b>Resíduo</b>	40	0,015	0,0004	
<b>Total</b>	44			

Ao observarmos a densidade de briquetes formados por serragem de pinus ( $0,852 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e serragem de eucalipto ( $0,871 \text{ g.cm}^{-3}$ ) no trabalho de Chrisostomo (2011), observa-se que os briquetes formados integralmente pela casca de Licuri mostram-se mais densos (1,2 vezes mais densos), mostrando que em relação a densidade, a casca de Licuri pode ser vantajosa quando comparada a biomassas como a serragem de pinus e eucalipto.

O valor obtido para a densidade dos briquetes formados integralmente por palha de cana-de-açúcar mostrou-se próximo ao verificado por Chrisostomo (2011) para briquetes formados a partir do bagaço da cana-de-açúcar ( $0,840 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

De qualquer forma, o processo de briquetagem elevou a densidade, resultado da compactação do material e conseqüentemente da redução do volume. A densidade está diretamente ligada com os custos de transporte, assim, aumentar a densidade do material acarreta em redução nos custos de transporte (QUIRINO, 2002).

#### 4.2.3. Ensaio mecânico

Os briquetes foram ensaiados mecanicamente quanto à resistência a tração por compressão diametral e seu resultado está apresentado na Tabela 4.15. Foi realizada ANOVA a 95% de probabilidade para a força máxima com resultados na Tabela 4.16, evidenciando diferença significativa entre os tratamentos, realizou-se, então Teste de Tukey para diferenciação dos mesmos.

TABELA 4.15: Resultado do ensaio mecânico dos briquetes.

<b>Briquete</b>	<b>Força Máxima (Kgf)</b>
T1 - 100% Licuri	$34,09 \pm 2,98$ A
T2 - 75% Licuri + 25% P. cana-de-açúcar	$34,65 \pm 1,95$ A
T3 - 50% Licuri + 50% P. cana-de-açúcar	$27,17 \pm 7,22$ C
T4 - 25% Licuri + 75% P. cana-de-açúcar	$17,20 \pm 2,06$ B
T5 - 100% Palha cana-de-açúcar	$23,10 \pm 2,51$ C

As letras A, B e C indicam resultado do Teste de Tukey

TABELA 4.7: Resultado da ANOVA realizada para a força máxima.

<b>Causas da variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tratamento</b>	4	2198,9	549,72	<b>36,49</b>
<b>Resíduo</b>	45	677,9	15,06	
<b>Total</b>	49			

Os briquetes formados com maior percentual de casca de Licuri (100 e 75%) não diferenciaram-se entre si, mas diferenciaram-se dos demais tratamentos, apresentando a maior força máxima (em torno de 34 Kgf), chegando a ser 1,5 vez mais resistente que os briquetes formados apenas com a palha de cana-de-açúcar, justificado pela menor densidade da palha de cana de açúcar.

Esse resultado combinado ao da expansão, que se mostrou menor para os briquetes constituídos com maior percentual de casca de Licuri, evidencia a maior adesão das partículas nos briquetes de casca de Licuri quando comparado aos briquetes de palha de cana-de-açúcar.

Pode-se observar que a adição da palha de cana-de-açúcar não favoreceu a força máxima, sendo assim, os briquetes com predominância da casca de Licuri são os que apresentaram maior resistência a rupturas durante o processo de transporte.

Os valores observados para os briquetes compostos apenas de casca de Licuri apresentaram valores de força máxima até 2,5 vezes inferior aos observados por Gonçalves et al. (2012), em que briquetes com serragem de eucalipto obtiveram valores entre 66 a 90 Kgf.

Já para briquetes formados por serragem de pinus, reportados por Chrisostomo (2011), essa diferença é de 1,1 vezes, assim a força máxima verificada no ensaio para os briquetes formados integralmente pela casca de Licuri é bem próxima aos briquetes formados por serragem de pinus.

A baixa resistência dos briquetes é uma característica a ser melhorada, realizando testes com granulometrias e umidades distintas, a fim de verificar a melhor condição para formação dos briquetes de casca de Licuri.

#### 4.2.4. Ensaio de tamboramento

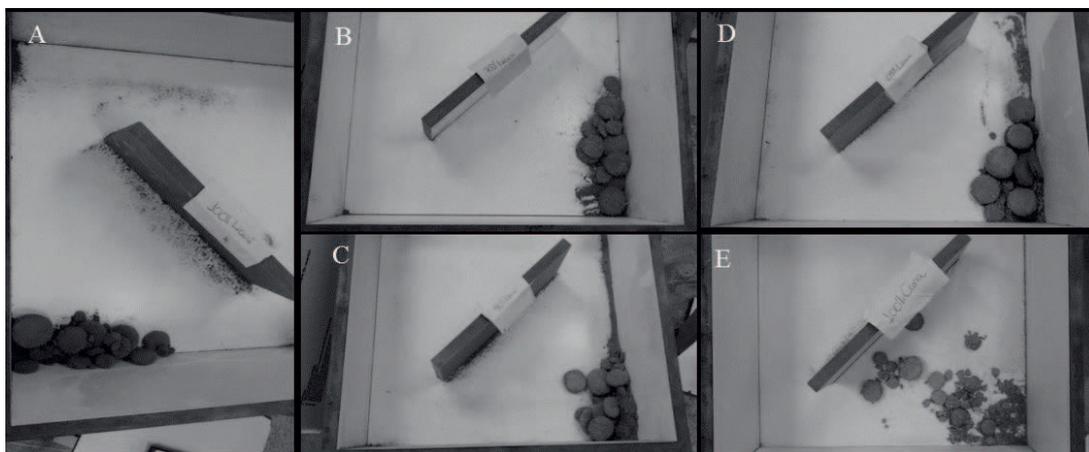
No ensaio de tamboramento é possível observar a coesão dos briquetes, conforme pode-se observar na FIG. 4.7, nenhum dos tratamentos respondeu de forma satisfatória ao teste, desfazendo-se quase que por completo, a Tabela 4.17 apresenta a porcentagem de perda de material após o ensaio.

TABELA 4.17: Porcentagem de perda de material após ensaio de tamboramento.

TRATAMENTO	% PERDA
T1 - 100% Licuri	68,3
T2 - 75% Licuri + 25% P. cana-de-açúcar	77,3
T3 - 50% Licuri + 50% P. cana-de-açúcar	77,7
T4 - 25% Licuri + 75% P. cana-de-açúcar	78,8
T5 - 100% Palha cana-de-açúcar	89,9

Para briquetes formados a partir de serragem de eucalipto a perda de material variou de 8 a 32% (Gonçalves et al., 2012), assim, embora os tratamentos com maior porcentagem de casca de Licuri tenham apresentado menores perdas de material, o resultado não é satisfatório evidenciando uma característica a ser melhorada.

FIGURA 4.7. Resultado do ensaio de tamboramento. (A) T1 - 100% Casca de Licuri. (B) T2 - 75% Casca de Licuri + 25% Palha de Cana. (C) T3 - 50% Casca de Licuri + 50% Palha de Cana. (D) T4 - 25% Casca de Licuri + 75% Palha de Cana. (E) T5 - 100% Palha de Cana.



Fonte: Próprio autor, 2014.

#### 4.2.5. Densidade energética

Comparou-se a densidade energética da casca de Licuri com os briquetes formados somente com a casca de Licuri (T1). Obteve-se que para um metro cúbico de material a densidade energética da casca é de 1,800 Kcal e do briquete é de 4,568 Kcal, assim, a compactação do material elevou em 2,5 vezes a densidade energética do material.

## 5 CONCLUSÕES

O Licuri tem potencial energético, apresentando elevada densidade e poder calorífico, além de baixo teor de umidade, características de um bom material combustível.

A briquetagem com 100% do material se mostrou eficiente, sendo a adição de palha de cana-de-açúcar não favorável as características de expansão diametral, força máxima e resistência a impacto, tornando o briquete mais frágil conforme aumentou-se o teor de palha de cana-de-açúcar na confecção dos briquetes.

Estudos com diferentes granulometrias e teores de umidade podem auxiliar na busca pela melhor composição dos briquetes formados pela casca de Licuri, melhorando características não favoráveis observadas no presente trabalho, como a baixa resistência ao ensaio de tração.

Além do potencial energético seu uso poderá auxiliar as famílias da Caatinga a obter energia e mais uma fonte de renda, para isso a preparação do material deve ser realizada com maior cuidado, evitando as contaminações, a fim de reduzir o elevado teor de cinzas apresentado nas amostras já trituradas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica no Brasil. 2. ed. Brasília, 2005. 243 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/index.html>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

ALBIERO, D.; MACIEL, A. J. S.; LOPES, A. C.; MELLO, C. A.; GAMERO, C. A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.) para agricultura familiar. Acta Amazonica, Manaus, v. 37, n. 3, p. 337-346, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672007000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672007000300004&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6922/81: carvão vegetal: ensaios físicos: determinação da massa específica: densidade a granel. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633/84: carvão vegetal: determinação do poder calorífico: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112/86: carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217/87: agregados: determinação composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO CAATINGA. Caatinga: um bioma exclusivamente brasileiro. Fortaleza, 2014. Disponível em: <<http://www.acaatinga.org.br/index.php/o-bioma/sobre-o-bioma/caracterizacao/>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

AVELINO, E. F. Avaliação das propriedades químicas da madeira de *Tabebuia pentaphylla* oriundas da arborização urbana sob ação de patógenos. 2006. 21 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)-Universidade do Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. Cadernos temáticos: riqueza e tecnologia: um retrato do Brasil. Brasília, DF, 2005. n. 6, 72 p. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cadernos\\_v2\\_riqueza.pdf](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/cadernos_v2_riqueza.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2014.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <[http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915)>. Acesso em: 20 fev. 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanco energético nacional 2014. Rio de Janeiro, 2014. 288 p. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2014.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2014.pdf)>. Acesso em: 27 fev. 2015.

BRIGIDA, A. I. S.; ROSA, M. F. Determinação do teor de taninos da casca de coco verde (Cocos nucifera). In: INTERAMERICAN SOCIETY FOR TROPICAL HORTICULTURE\_47., 2003, Fortaleza. Proceedings... Miami: ISTH, 2003. p. 25-27. Disponível em: <[http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo\\_1982.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_1982.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. Revista IPEF, Piracicaba, n. 36, p. 13-17, 1987. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr36/cap02.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CARRIER, M.; LOPPINET-SERANI, A.; DENUX, D.; LASNIER, J. M.; HAMPICHAVANT, F.; AYMONIER, C. Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. Biomass and Bioenergy. v. 35, n. 1, p. 298-307, 2011.

CALEGARI, L.; FOELKEL, C. E. B.; HASELEIN, C. R.; ANDRADE, J. L. S.; SANTINI, E. J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. Biomassa e Bioenergia, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 37-46, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). Bicombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios. Brasília, 2010. 55 p. Disponível em: <[http://www.cgee.org.br/publicacoes/biocombustiveis\\_aeronauticos.php](http://www.cgee.org.br/publicacoes/biocombustiveis_aeronauticos.php)>. Acesso em: 27 fev. 2014.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA (CEPAGRI). Clima dos municípios paulistas. Ibaté, 2014. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_224.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_224.html)>. Acesso em: 05 dez. 2014.

CHRISOSTOMO, W. Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais)-Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.

CLIMATE-DATA.ORG. Clima: Caldeirão Grande. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/42867/>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C.. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452009000300030&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452009000300030&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S; GÓMEZ, E. O. Biomassa para energia. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 15-27.

COSTA, T. M. S.; MARTINELLI, J. R.; MATOS, J. R. Análise térmica aplicada a estudos de eficiência do bambu para processos de carbonização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DOS MATERIAIS, 2004, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Dias de Sousa, 2004. p. 7.

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

<[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/veiculos\\_de\\_comunicacao/RBB/VOL24N2/A04V24N2.PDF](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/veiculos_de_comunicacao/RBB/VOL24N2/A04V24N2.PDF)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: EMBRAPA Agroenergia, 2012. 132 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

DRUMOND, M. A. Licuri *Syagrus coronata* (Mart.) Becc. Petrolina: EMBRAPA Semi-árido, 2007. 16 p. Disponível em: <[http://www.cpatsa.embrapa.br/public\\_eletronica/downloads/SDC199.pdf](http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/SDC199.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2014.

FEITOSA NETTO, G. B.; OLIVEIRA, A. G. P.; COUTINHO, H. W. M. Caracterização energética de biomassas amazônicas. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Anais... Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022006000100035&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100035&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 10 fev. 2015.

FERNANDEZ, B. O.; YAMAJI, F. M.; GONÇALVES, B. F.; OLIVEIRA, I. W. Caracterização de briquetes de poda de *Eucalyptus* sp. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 7., 2012, São Paulo. Anais... Disponível em: <[http://media.wix.com/ugd/306968\\_9eb00e55907b3159732ab3ebdcf60cd0.pdf](http://media.wix.com/ugd/306968_9eb00e55907b3159732ab3ebdcf60cd0.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2014.

FERREIRA, E., MENDONÇA, C. C. Babaçu: uma fonte promissora para a produção de bioenergia no leste do Acre. A Gazeta do Acre, [Rio Branco], 2012. Acesso em: <<http://www.ufac.br/portal/publicacoes/ufac-na-imprensa/edicoes-2012/janeiro/babacu-uma-fonte-promissora-para-a-producao-de-bioenergia-no-leste-do-acre>>. Disponível em: 27 fev. 2014.

FIGUEIRÔA, J. M.; ARAÚJO, E. L.; PAREYN, F. G. C.; CUTLER, D. F.; GASSON, P.; LIMA, K. C.; SANTOS, V. F. Variações sazonais na sobrevivência e produção de biomassa de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. após o corte raso e implicações para o manejo da espécie. Revista Árvore, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1041-1049, 2008.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; COSTA, D. R.; CHRISOSTOMO, W.; ALMEIDA FILHO, F. Caracterização de briquetes de *Eucalyptus* sp e *Pinus* sp. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 5., 2010, Curitiba. Anais... Disponível em: <[http://media.wix.com/ugd/306968\\_d4d101d557f7c1578b76cf6f7e0e200c.pdf](http://media.wix.com/ugd/306968_d4d101d557f7c1578b76cf6f7e0e200c.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2014.

FLORES, W. P.; YAMAJI, F. M. Caracterização de briquetes através da determinação do teor de cinzas. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFSCar, 8.; CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, São Carlos. Anais... Disponível em: <[http://media.wix.com/ugd/306968\\_b7fa17fb845f9af85eac8bd2cb94cdaa.pdf](http://media.wix.com/ugd/306968_b7fa17fb845f9af85eac8bd2cb94cdaa.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2014.

GONÇALVES, B. F.; YAMAJI, F. M.; FERNANDEZ, B. O.; DA ROZ, A. L.; FLORIANO, F. S. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para a confecção de briquetes. Revista Instituto Florestal, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 205-213, 2012. Disponível em: <[http://iflorestal.sp.gov.br/files/2014/05/RIF25-2\\_205-213.pdf](http://iflorestal.sp.gov.br/files/2014/05/RIF25-2_205-213.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2015.

HAMAGUCHI, M.; VAKKALAINEN, E. Corrosão em tubos de superaquecedor de caldeiras de recuperação: um desafio. Revista O Papel, São Paulo, v. 71, n. 6, p. 57-71, 2010. Disponível em: <[http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1312222395\\_bb9ab794f0083a545b290a524ba7d22b\\_788199394.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1312222395_bb9ab794f0083a545b290a524ba7d22b_788199394.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Caldeirão Grande – BA. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=290550&search=bahialcaldeirao-grandelinfograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

JEKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JR, T. R.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. Elsevier Science, Amsterdam, n. 54, p. 17-46, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382097000593>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

KIILL, L. H. P. Caatinga: patrimônio brasileiro ameaçado. Brasil, 2002. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/caatinga-patrimonio-brasileiro-ameacado>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

LIMA, J. R. O.; SILVA, R. B.; SILVA, C. C. M.; SANTOS, L. S. S.; SANTOS JR, J. R.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R. Biodiesel de babaçu (*Orbignia* sp.) obtido por via etanólica. Revista Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007. Disponível em: <[http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol30No3\\_600\\_18-AR06143.pdf](http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol30No3_600_18-AR06143.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

LIMA-JÚNIOR, C.; EVANDRO, V. S. B. S.; LIMA, R. F. A.; MENEZES, R. S. C. Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa no nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 7, n. 2, p. 207-221, 2014. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/689>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. Revista da Árvore, Viçosa, v. 28, n. 6, p.889-894, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000600014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000600014&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

LOPES, U. G. C. Licuri (*Syagrus coronata* (MART) BECC) usos e concepções nos municípios de Olho d'água das Flores e São José da Tapera no semi-árido alagoano. 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Humana e Gestão Sócio-Ambiental)-Universidade do Estado da Bahia, Paulo Afonso, BA, 2012.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; FERREIRA, E. Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 416 p.

MARCHESAN, R.; MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; ROSOT, N.C. Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Ocotea porosa* (Nees & C. Mart.) Barroso. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2006. (Comunicado Técnico, n. 161). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/307329/1/comtec161.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

MARCONATO, M. S.; SANTINI, G. A. Alternativas para a geração de energia renovável no Brasil: a opção pela biomassa. In: SOBER: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. Anais... Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/0-setor/etanol/legislacao/Energia%20Renovavel%20no%20Brasil.%20A%20opcao%20pela%20Biomassa.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; MUNIZ, G. I. B. Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* Wall. Ex Munro) em diferentes idades. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 417-422, 2012. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/5749>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

MATTOS, P. P.; BORTOLI, C.; MARCHESAN, R.; ROSOT, N. C. Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2006. (Comunicado Técnico, n. 160). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/307327/1/comtec160.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

MEDEIROS-COSTA, J. T. As palmeiras (palmae) nativas em Pernambuco. 1982. 140 f. Dissertação (Mestrado em Botânica)–Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1982.

MF Rural. Compra e venda de produtos rurais. 2014. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

MORAES, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* Parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. Revista Árvore, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000300014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622005000300014&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

OBERNBERGER, I.; THEK, G. Physical chatacterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. Biomass and Bioenergy, Amsterdam, v. 27, n.6, p. 653-669, 2004.

OLIVEIRA, A. M. R. S. Caracterização da fibra do licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccare) para aplicações na construção civil. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO, P. N. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 550-555, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/floram/2013nahead/aop\\_floram\\_247.pdf](http://www.scielo.br/pdf/floram/2013nahead/aop_floram_247.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

PAYLACK, M. C. M.; ZUNIGA, A. D.; LIMA, T. L. A.; ARÉVOLO-PINEDO, A.; CARREIRO, S. C.; FLEURY, C. S.; SILVA, D. L. Aproveitamento da farinha do mesocarpo de babaçu (*Orbignya martiana*) para obtenção de etanol. Evidência: Ciência e Biotecnologia, Joaçaba, v. 7, n. 1, p. 07-23, 2007. Disponível em: <<http://editora.unoesc.edu.br/index.php/evidencia/article/view/1855>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Propriedades da madeira de cedrinho japonês. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2003. (Comunicado Técnico, n. 88). Disponível em: <[http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/Com\\_tec88.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/Com_tec88.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000. (Comunicado Técnico, n. 38). p. 55. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/297469/1/doc38.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

PIRES, A. A. F. Resíduos lignocelulósicos para biocombustível sólido: caracterização e termogravimetria aplicada. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais)-Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILLO, A. N.; SILVA, M. G.; COUTO, A. M. Mass and energy balance of the carbonization of babassu nutshell as affected by temperature. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 49, n. 3, p. 189-196, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2014000300189&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2014000300189&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Brasília: IBAMA, 2002. P. 25. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. Biomassa e Bioenergia, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/06-B&E-v1-n2-2004-173-182.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

RISSI, R. N.; GALDINO JR., R. F. Efeito de diferentes substratos para o crescimento inicial de Licuri (*Syagrus coronata* Mart. Becc. - Arecaceae). Revista Ciências Biológicas FAFIBE, Bebedouro, ano 1, n. 1, 2011. Disponível em: <<https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistabiologia/sumario/15/30042011081549.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

ROCHA, K. M. R. Biologia reprodutiva da palmeira licuri (*Syagrus coronata* (Mart.) Becc.) na ecorregião do raso da Catarina. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

RUFINO, M. U. L.; COSTA, J. T. M.; SILVA, V. A.; ANDRADE, L. H. C. Conhecimento e uso do ouricuri (*Syagrus coronata*) e do babaçu (*Orbignya phalerata*) em Buíque. Acta Botânica Brasilica, Belo Horizonte, v. 22, n. 4, p. 1141-1149, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-33062008000400025](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062008000400025)>. Acesso em: 20 fev. 2014.

SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; MANFREDI, M.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CALDAS, C. S.; SOARES, F. E. F. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando a produção de etanol celulósico. Química Nova, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 56-62, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422014000100011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422014000100011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 15 jan. 2015.

SANTOS-NETO, J. R.; CAMANDARROBA, M. Mapeamento dos sítios de alimentação da arara-azul-de-Lear *Anodorhynchus leari* (Bonaparte, 1856). Ornithologia, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 1-17, 2008. Disponível em: <<http://cemave.net/ornithologia/index.php/ornithologia/article/view/26>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

SAWIN, J. L. Renewables 2012: global status report. In: RENEWABLES ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. Paris: REN21 Secretariat, 2012. Disponível em: <[http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012\\_low.pdf](http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012_low.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2014.

SILVA, J. C.; BARRICHELO L. E. G.; BRITO, J. O. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. Revista

IPEF, Piracicaba, n. 34, p. 31-34, 1986. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr34/cap04.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

SIQUEIRA, M. M; PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P. P.; SHIMIZU, J. Características físicas, químicas e anatômicas de *Pinus merkusii*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2001. (Comunicado Técnico, n. 65). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/304682>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). Acid-insoluble lignin in wood and pulp: method T222 cm-98. Atlanta: TAPPI, 1998.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). Solvent Extractives of Wood and Pulp: method T204 cm-97. Atlanta: TAPPI, 1997.

VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) para uso energético. Biomassa e Energia, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 365-370, 2004. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/06-B&E-v1-n4-2004-p365-370.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

VENDRASCO, L. YAMAJI, F. M. Briquetes: uma alternativa energética. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFSCar, 8.; CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 17., 2009, São Carlos. Anais... Disponível em: <[http://media.wix.com/ugd/306968\\_487f9a28b65c0873b4c7eca76f2ef496.pdf](http://media.wix.com/ugd/306968_487f9a28b65c0873b4c7eca76f2ef496.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2014.