



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA ALVES

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DAS ESPÉCIES VEGETAIS SABIÁ (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) E CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) PARA FINS ENERGÉTICOS NO ESTADO DE ALAGOAS

Maceió
2013

GUSTAVO HENRIQUE DE OLIVEIRA ALVES

ESTUDO DO APROVEITAMENTO DAS ESPÉCIES VEGETAIS SABIÁ (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) E CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum.) PARA FINS ENERGÉTICOS NO ESTADO DE ALAGOAS

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Alagoas como
parte dos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia
Química.

Orientadora: Prof^a. Dra. Simoni
Margareti Plentz Meneghetti

Co-Orientador: Prof^o. Dr. José
Edmundo Accioly de Souza

Maceió

2013

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

A474e Alves, Gustavo Henrique de Oliveira.
Estudo do aproveitamento das espécies vegetais sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no estado de Alagoas / Gustavo Henrique de Oliveira Alves. – Maceió, 2013.

77 f. : il.

Orientadora: Simoni Margareti Plentz Meneghetti.

Co-orientador: José Edmundo Accioly de Souza.

Dissertação (mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2013.

Bibliografia: f. 70-77.

1. Fonte de energia alternativa. 2. Espécies vegetais – Compactação.
3. Espécies vegetais – Poder energético. 4. Biomassa vegetal – Poder calorífico.
I. Título.

CDU: 662.636

Gustavo Henrique de Oliveira Alves

**ESTUDO DO APROVEITAMENTO DAS ESPÉCIES VEGETAIS SABIÁ
(MIMOSA CAESALPINIAEFOLIA BENTH) E CAPIM ELEFANTE
(PENNISSETUM PURPUREUM SCHUM) PARA FINS ENERGÉTICOS NO
ESTADO DE ALAGOAS**

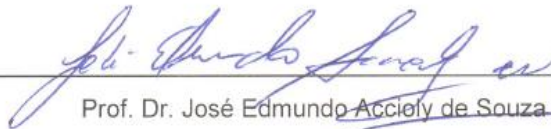
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovada em: Maceió, 19 de fevereiro de 2013.

BANCA EXAMINADORA



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



Prof. Dr. José Edmundo Accioly de Souza
(Co-orientador - CTEC/UFAL)



Prof^a. Dr^a. Renata Maria Rosas Garcia Almeida
(PPGEQ/UFAL)



Prof^a. Dr^a. Aline da Silva Ramos Barboza
(PPGEC/UFAL)



A todos, pelo apoio dado durante a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

a Deus, por me guiar e sempre iluminar meu caminho;

aos meus pais, Sr. José de Oliveira Alves e Sra. Josélia Pinho de Oliveira Alves, e a minha irmã, Patrícia, pelo amor e incentivo oferecido durante essa trajetória de dois anos em minha vida;

a minha noiva, Micaela, pelo carinho e por ter sido fundamental em minha caminhada;

aos meus orientadores, Prof^ª. Dr^ª. Simoni Margareti Plentz Meneghetti e Prof^º. Dr^º. José Edmundo Accioly de Souza, pelos ensinamentos dados durante todo esse tempo;

à Prof^ª. Dra. Aline da Silva Ramos Barboza, pelo grande apoio durante o processo de pesquisa desse trabalho;

a meus professores do PPGEQ/UFAL que contribuíram para o meu aprendizado durante o curso;

aos amigos do Grupo de Catálise e Reatividade Química (GCaR) e do Grupo de Pesquisa em Biomassa para Energia (GPBIOEN), pela amizade, confiança, horas de aprendizado e conversas durante esse período que nos conhecemos;

ao CNPq, a FINEP e a UFAL pelo apoio financeiro, possibilitando assim a realização desse trabalho.

RESUMO

A busca por fontes de energias alternativas tem-se constituído como um dos principais desafios da sociedade atual. Neste contexto a biomassa vem ganhando espaço, pois é considerada uma fonte energética renovável e de baixo custo. Dentre as espécies vegetais disponíveis no Estado de Alagoas, o Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e o Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) mostram-se bastante promissoras. Para tanto, se efetuaram estudos físico-químicos e energéticos dessas espécies, antes e após compactação. As folhas e o caule do Sabiá e os colmos e folhas do Capim-elefante foram triturados e em seguida realizou-se processos de secagem (quando necessário) e análise granulométrica. As folhas e caule demonstraram densidade variando de 0,72 a 0,82 g/cm³. Para as amostras não compactada e compactada a variação dos teores de voláteis foram de 60,62 a 79,09 %, para os teores de cinzas foram de 1,66 a 2,99 %, para os teores de carbono fixo de 19,25 a 36,39 % e os dados de poder calorífico superior (PCS) mostraram valores variando de 17.490,00 a 18.087,50 kJ/kg e de 15.847,64 a 16.455,14 kJ/kg para o poder calorífico inferior (PCI). As folhas e colmos do Capim-elefante (Cameroon e Roxo) apresentaram dados de densidade variando entre 0,51 e 0,71 g/cm³, teor de voláteis entre 66,45 e 77,32 %, teor de cinzas indo de 3,66 a 13,76 % e teor de carbono fixo de 10,08 a 23,39 %. Os PCS's e PCI's para as folhas do Capim-elefante forneceram valores mínimos de 16.408,00 kJ/kg e 14.785,40 kJ/kg, respectivamente. Para os colmos verde e roxo o PCS mínimo observado foi de 15.077,50 kJ/kg e o menor valor de PCI correspondeu a 13.428,79 kJ/kg. Desenvolveu-se um estudo simulando o cultivo energético das espécies em um assentamento rural do Estado de Alagoas, localizado próximo a uma cerâmica vermelha. Os resultados demonstraram que a floresta energética de Capim-elefante se mostra mais promissora do ponto de vista econômico/energético em relação à plantação de Sabiá.

Palavras-chave: Energias alternativas. Espécies vegetais. Compactação.

ABSTRACT

The search for alternative energy sources has been established as one of the main challenges of today's society. In this context, biomass is becoming more popular because it is considered a renewable energy source and low cost. Among the plant species available in the State of Alagoas, Sabia (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) and Elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) show up quite promising. Therefore, if effected physico-chemical and energy of these species before and after compression. The leaves and stems of the Sabia and the stalks and leaves of Elephant grass were ground and then held drying processes (when necessary) and particle size analysis. The leaves and stems showed density ranging from 0.72 to 0.82 g/cm³. For samples uncompressed and compressed changes in the levels of volatiles were 60.62 to 79.09 % for ash content were 1.66 to 2.99 % for the fixed carbon content of 19.25 to 36.39 % and the data calorific value (GCV) showed values ranging from 17490.00 to 18087.50 kJ/kg and 15847.64 to 16455.14 kJ/kg for the lower heating value (LHV). The leaves and stalks of Elephant grass (Cameroon and Purple) presented data density ranging between 0.51 and 0.71 g/cm³, volatile content between 66.45 and 77.32 %, ash content going 3.66 to 13.76 % and fixed carbon content from 10.08 to 23.39 %. The GCV's and LHV's for the leaves of Elephant grass provide minimum values of 16408.00 kJ/kg and 14785.40 kJ/kg, respectively. For stalk green and purple GCV minimum observed was 15077.50 kJ/kg and the smallest value of LHV corresponded to 13428.79 kJ/kg. We developed a study simulating the energy crop species in a rural community in Alagoas, located next to a red ceramic. The results showed that the energy of grass-forest Elephant appears more promising in terms of economic/energy in relation to planting Sabia.

Keywords: Alternative energy. Plant species. Compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta interna de energia.....	17
Figura 2 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.....	18
Figura 3 – Produtos agrícolas e sua localização no mapa do Estado de Alagoas..	21
Figura 4 – Espécie vegetal Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.).....	23
Figura 5 – Tipos climáticos de Alagoas.....	24
Figura 6 – Estacas de Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.).....	25
Figura 7 – Capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.).....	27
Figura 8 – Localização das cerâmicas do projeto SINDICER – AL/UFAL.....	32
Figura 9 – Localização de assentamentos no Estado de Alagoas.....	34
Figura 10 – Etapas da metodologia.....	35
Figura 11 – Pastilhas que simulam os briquetes.....	40
Figura 12 – Esquema de corte para o 1º ciclo do Sabiá.....	56
Figura 13 – Esquema de corte para o 1º ciclo do Capim-elefante.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de previsão de safra – Produção de Alagoas.....	20
Tabela 2 – Dados referentes às quantidades produzidas e de resíduos agroindustriais gerados em Alagoas relativas ao ano de 2006.....	20
Tabela 3 – Resumo das fases de processamento das amostras.....	37
Tabela 4 – Especificação das malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica.....	39
Tabela 5 – Resumo das fases de processamento das amostras.....	40
Tabela 6 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e caule do Sabiá.....	46
Tabela 7 – Resultados de densidade das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	47
Tabela 8 – Resultados de PCS, umidade e PCI das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	48
Tabela 9 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	49
Tabela 10 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e colmos do Capim-elefante verde.....	50
Tabela 11 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e colmos do Capim-elefante roxo.....	50
Tabela 12 – Resultados de densidade das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	51
Tabela 13 – Resultados de densidade dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	51
Tabela 14 – Resultados de PCS, umidade e PCI das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	51
Tabela 15 – Resultados de PCS, umidade e PCI dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	52
Tabela 16 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não	53

compactada e compactada.....	
Tabela 17 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada.....	54
Tabela 18 – Dados relacionados ao cultivo de Sabiá no assentamento São Luiz, localizado em Atalaia, AL.....	57
Tabela 19 – Custos com a implantação de uma floresta energética de Sabiá no assentamento São Luiz.....	57
Tabela 20 – Custos de implantação e manutenção da área total de Sabiá.....	59
Tabela 21 – Características físico-químicas das biomassas utilizadas pela cerâmica Bandeira.....	60
Tabela 22 – Insumos utilizados na formação do Capim-elefante (R\$/ha).....	63
Tabela 23 – Insumos utilizados na manutenção do Capim-elefante (R\$/ha).....	64
Tabela 24 – Dados relacionados ao cultivo do Capim-elefante no assentamento São Luiz, localizado em Atalaia, AL.....	64
Tabela 25 – Custos de implantação e manutenção da área total de Capim-elefante.....	65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Gerais.....	14
2.2 Específicos.....	14
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1 Biomassas Energéticas no Brasil.....	16
4.2 Biomassas Energéticas em Alagoas.....	19
4.2.1 Produtos de Origem Agrícola/Agroindustrial.....	19
4.2.2 Produtos de Origem Não Agrícola/Agroindustrial.....	22
4.2.2.1 Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.).....	23
4.2.2.2 Capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.).....	27
4.3 Compactação da Biomassa.....	30
4.4 Possibilidade de Utilização das Espécies Vegetais em Cerâmica do Estado de Alagoas: Estudo de Caso da Cerâmica Bandeira.....	31
4.4.1 Cerâmica Bandeira.....	32
4.4.2 Assentamentos Rurais em Alagoas.....	33
5 METODOLOGIA.....	35
5.1 Coleta das Amostras.....	35
5.1.1 Amostras de Sabiá (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth.).....	35
5.1.2 Amostras de Capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.).....	36
5.2 Fases de Processamento das Amostras.....	36
5.2.1 Trituração.....	37
5.2.2 Secagem.....	37
5.2.3 Granulometria.....	38

5.2.4 Compactação.....	39
5.3 Propriedades Físico-Químicas das Biomassas Estudadas.....	40
5.3.1 Densidade.....	41
5.3.2 Teor de Umidade.....	41
5.3.3 Poder Calorífico Superior.....	42
5.3.4 Poder Calorífico Inferior.....	43
5.3.5 Teor de Voláteis.....	44
5.3.6 Teor de Cinzas.....	44
5.3.7 Teor de Carbono Fixo.....	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6.1 Caracterizações Físico-Químicas da Espécie Sabiá.....	46
6.2 Caracterizações Físico-Químicas da Espécie Capim-Elefante.....	49
6.3 Estudo Econômico da Criação de Florestas Energéticas de Sabiá e Capim-Elefante no Assentamento São Luiz – Atalaia.....	54
6.3.1 Floresta Energética de Sabiá.....	55
6.3.2 Floresta Energética de Capim-elefante.....	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	67
8 PERSPECTIVAS.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da sociedade atual é a busca por fontes de energias renováveis. Cada vez mais institutos de pesquisa e outros setores da sociedade em todo o mundo procuram formas de substituição do carvão mineral e do petróleo por energias mais limpas, diminuindo os impactos ambientais gerados por combustíveis fósseis.

Percebe-se que entre as fontes de energia renováveis, com condições de ser empregadas atualmente nos diversos setores comerciais, a biomassa é a única que possui a flexibilidade de atender com eficiência os meios que necessitam de energia elétrica, além de ser capaz de suprir o setor de transportes (CORTEZ, LORA, AYARZA. In: CORTEZ, LORA, GOMÉZ, 2008).

Por muitos anos vários países consideravam que a dependência de energia oriunda de biomassa seria sinal de subdesenvolvimento, pois a mesma era utilizada de forma bastante primitiva. No entanto, o desenvolvimento da consciência ambiental e a necessidade da adoção de políticas de sustentabilidade fizeram com que essa visão se tornasse ultrapassada.

Outro ponto a considerar é que a utilização da biomassa, oriunda de meios sustentáveis, como combustível tem a vantagem de contribuir positivamente para o sistema climático global. Isso é comprovado quando se observa que as fontes renováveis de origem vegetal, por exemplo, são obtidas por meio do processo de fotossíntese e através dos resíduos florestais, agrícolas etc. (COELHO; VELÁZQUEZ; APOLINARIO, 2007).

Do ponto de vista energético, biomassa seria todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia. Suas fontes são: (i) os vegetais lenhosos, dentre os quais podemos citar como exemplo o eucalipto; (ii) os não lenhosos, classificados em sacarídeos (ex.: cana-de-açúcar), celulósicos (ex.: capim-elefante), amiláceos (ex.: mandioca), oleaginosas (ex.: óleo de girassol) e aquáticos (ex.: algas) e (iii) os resíduos orgânicos, que podem ser divididos em agropecuários (ex.: folhas de soja), urbanos (ex.: embalagens plásticas) e agroindustriais (ex.: casca de arroz) (CENBIO, 2011).

Alagoas possui ampla variedade de espécies, como as de origem agrícola e agropecuária. No entanto, biomassas de origem lenhosa e não lenhosa mostram-se bastante promissoras. Para estes dois últimos tipos, as espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) apresentam grande potencial energético, tornando-se fontes alternativas competitivas de energia, capazes, além de tudo, de criarem uma sociedade ecologicamente mais consciente.

O presente trabalho busca avaliar as biomassas de origem vegetal Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), existentes no Estado de Alagoas, e investigá-las do ponto de vista físico-químico e econômico, para aplicação na geração de energia em setores produtivos do estado que utilizam processos de queima.

2 OBJETIVOS

2.1 Gerais

- Avaliar o potencial energético das espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para utilização em processos de queima de setores produtivos do Estado de Alagoas.

2.2 Específicos

- Analisar as propriedades físico-químicas e energéticas das espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) antes e após o processo de compactação em escala laboratorial;
- Verificar aspectos relacionados à disponibilidade de matéria prima, tempo de plantio, custos de produção, formas de beneficiamento e aproveitamento das espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no Estado de Alagoas;
- Avaliar a possibilidade de utilização das espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em processos de queima de uma indústria de cerâmica vermelha.

3 JUSTIFICATIVA

Levando-se em consideração o enorme potencial a ser explorado e a necessidade existente por fontes energéticas alternativas e menos poluentes que os combustíveis fósseis, se faz necessário cada vez mais estudos direcionados à produção de energia através da utilização de biomassas em larga escala. Além disso, há constante preocupação dos órgãos ambientais para com a destruição do meio ambiente.

O presente trabalho busca a investigação das espécies vegetais Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) como potenciais tipos de biomassas energéticas disponíveis em Alagoas, avaliando-se a substituição - parcial ou total - dos combustíveis atualmente utilizados por alguns setores, que utilizam queima direta em seus processos. Essas espécies de biomassas podem ser cultivadas em distintas regiões do estado, já que se adaptam às várias características de climas e solos, podendo gerar divisas econômicas, ao mesmo tempo em que apresentam alto poder calorífico e ciclo rápido de colheita. Além disso, o estudo justifica-se quando é percebida no Estado de Alagoas a constante busca por pesquisas direcionadas ao tema.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Biomassas Energéticas no Brasil

Cada vez mais se percebe a necessidade da utilização de fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis, principalmente após as variações no preço do petróleo na década de 1970 e em virtude das preocupações com as mudanças climáticas. A utilização da biomassa ganha espaço no país e no mundo. No Brasil, a utilização da lenha é antiga e foi responsável, até a primeira metade do século XX, por mais de 50 % da oferta de energia no país. Esta biomassa tradicional começou a perder espaço nas últimas décadas, no entanto, a partir da criação do PROÁLCOOL em 1975, os usos modernos da biomassa passaram a ganhar peso na matriz energética nacional (ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005).

Em 1982, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) iniciou estudos para quantificar a biomassa existente no Nordeste, prevendo-se que no ano de 2000, os recursos hidroelétricos estariam esgotados no semiárido desta região. O projeto do órgão incluía a conversão de biomassa em eletricidade usando tecnologias de turbina a gás e traria benefícios sociais como a criação de empregos e o desenvolvimento do setor rural em geral (CARPENTIERI; LARSON; WOODS, 1993).

Mesmo com a criação do PROÁLCOOL, a biomassa energética veio perdendo espaço no mercado brasileiro por alguns anos, caindo sua participação no consumo de energia total de aproximadamente 38,3 % em 1987 para 27,2 % em 2002 (ROSILLO-CALLE; BAJAY; ROTHMAN, 2005). Porém, através da Figura 1 vê-se que principalmente a partir do ano de 2009 biomassas como a lenha e derivados da cana apresentaram crescimento no gráfico que retrata a oferta interna de energia do país do período de 1970 a 2010 e esses valores tendem a crescer ao longo dos anos.

Segundo Cortez, Lora, Ayarza (2008) as primeiras biomassas empregadas no Brasil foram oriundas de diversos tipos de resíduos. Os resíduos vegetais são

produzidos no campo. Estes possuem um poder calorífico médio de 15,7 MJ/kg expresso em matéria seca e são constituídos basicamente de palha, folhas e caule.

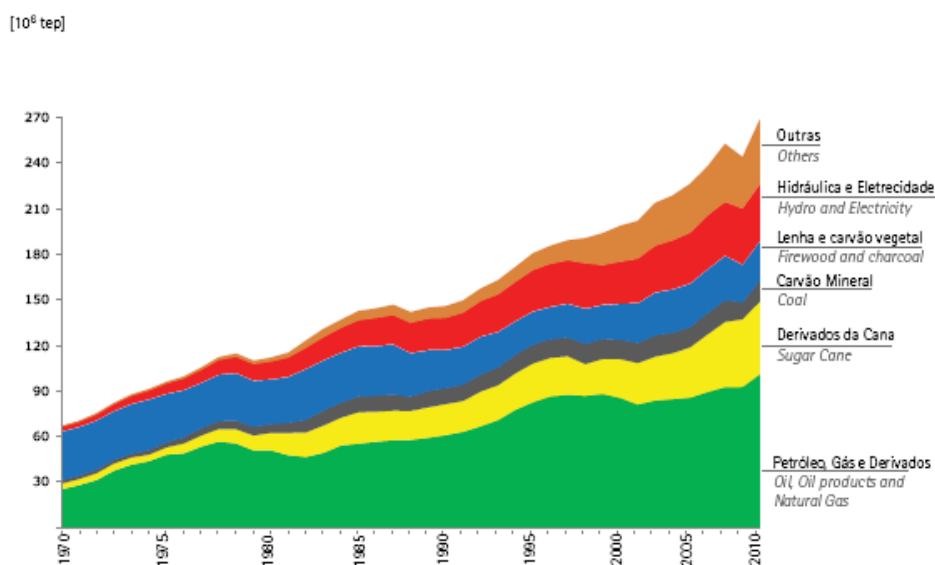
Os resíduos sólidos urbanos são obtidos dos resíduos domiciliares e dos resíduos comerciais. O teor de matéria orgânica (C, H, O, N) do lixo brasileiro está em 60 % aproximadamente, o que lhe confere bom potencial energético. O Poder Calorífico Inferior (PCI) médio do resíduo domiciliar é de 1.300 kcal/kg (5,44 MJ/kg).

Os resíduos industriais são considerados aqueles provenientes do beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, do uso de carvão vegetal no setor siderúrgico de ferro-gusa e aço e do gás de alto-forno a carvão vegetal.

Os resíduos animais são determinados pela capacidade de produção de excrementos das criações de gado bovino, suíno, caprino e ovino.

Os resíduos florestais são constituídos por todo aquele material que é deixado para trás na coleta da madeira, tanto em florestas e bosques naturais como em reflorestamento, e pela serragem e aparas produzidas no processamento da madeira. Esses resíduos deixados no local de coleta são as folhas, os galhos e o material resultante da destoca. Para todos esses casos, incluindo o dos resíduos de serragem, que pode ser superior à produção de madeira trabalhada, deve ser assumido o poder calorífico da madeira de 13,8 MJ/kg de resíduo produzido.

Figura 1 - Oferta interna de energia.

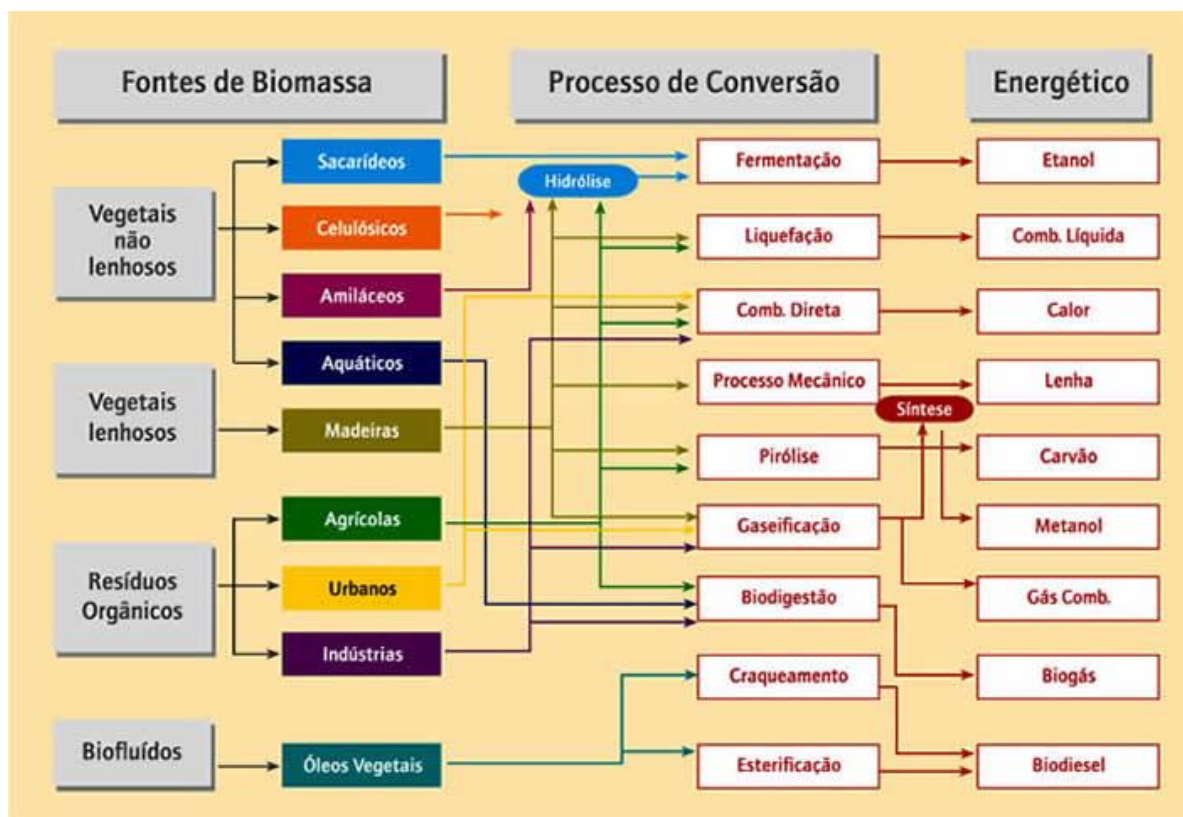


Fonte: Balanço Energético Nacional, 2011.

Cortez, Lora, Ayarza (2008) citam que a biomassa de resíduos agrícolas existentes no Brasil é oriunda de diversas culturas, tais como: algodão, milho, mandioca, arroz, cana-de-açúcar, amendoim etc. Seus resíduos, que possuem um alto poder calorífico, poderão ser utilizados para obtenção de energia de diversas formas tais como a queima direta em caldeiras, compactação (para posterior queima), gaseificação, pirólise etc.

Os processos de conversão da biomassa podem ser dos mais variados tipos, como se pode ver na Figura 2. Dentre eles os mais comuns são a fermentação, para obtenção de etanol, a combustão direta, para geração de calor, e a pirólise (decomposição térmica que ocorre na ausência de oxigênio).

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



Fonte: MME, 1982, modificado por ANEEL, 2011.

Todas as regiões brasileiras apresentam disponibilidade de biomassa, em maior e menor proporção, de matérias-primas como cana-de-açúcar, casca de arroz e resíduos florestais para obtenção de energia. Além das anteriores, temos para as regiões Norte e Nordeste a presença de oleaginosas (como dendê e milho, por

exemplo), castanha de caju e casca do coco-da-baía. Na região Centro-Oeste há culturas de soja e milho. Existe potencial energético relacionado, também, à casca do arroz e a resíduos florestais. A cana-de-açúcar na região Sudeste - maior produtora dessa biomassa no país -, por consequência fornece o maior potencial de aproveitamento de bagaço para geração de energia. No entanto, devem-se citar matérias-primas de grande importância como a soja, milho e algodão, biomassas importantes também na região Sul do Brasil.

4.2 Biomassas Energéticas em Alagoas

No Estado de Alagoas há presença de uma grande variedade de cultivos destinados à produção alimentícia e espécies vegetais com grande potencial energético. Entre essas culturas temos os produtos que tem ou não origem agrícola/agroindustrial e podem ser utilizados como biomassa para geração de energia em fornos de padarias, pizzarias, fornos cerâmicos etc.

4.2.1 Produtos de Origem Agrícola/Agroindustrial

Os produtos de origem agrícola/agroindustrial cultivados nas diversas regiões alagoanas geram resíduos, os quais são as partes que sobram da atividade produtiva de colheita.

Como pode ser visto na Tabela 1, em Alagoas há produção de diversos produtos agrícolas, os quais são passíveis de geração de matéria-prima aproveitável para obtenção de energia através da queima, como é visto no trabalho desenvolvido por Souza (2011). Percebe-se que a cultura da cana-de-açúcar, seguida pela da mandioca são as de maiores produções e, conseqüentemente, geram grandes quantidades de resíduos. Como é sabido, o bagaço de cana-de-açúcar tem grande potencial energético, sendo utilizado em caldeiras e garantindo a autossuficiência em energia nas usinas, no entanto, partes menos utilizadas como as palhas e pontas da cana também podem servir como combustível renovável. Segundo o

Centro de Tecnologia Canavieira (2011) as palhas e pontas de cana fornecem um PCS médio de 17,0 MJ/kg; para o bagaço estes valores estão entre 5,6 a 8,9 MJ/kg, dependendo da umidade do bagaço.

Tabela 1 – Dados de previsão de safra – Produção de Alagoas

Produto	Período	
	Safra 2011	Safra 2012
Abacaxi (Mil frutos)	8.844	8.844
Algodão herbáceo (Toneladas)	162	160
Arroz (Toneladas)	21.190	20.557
Banana (Toneladas)	48.051	49.090
Cana-de-açúcar (Toneladas)	29.342.738	29.500.000
Coco-da-baía (Mil frutos)	55.048	55.045
Feijão (2ª Safra) (Toneladas)	20.771	23.020
Fumo (Toneladas)	14.898	14.100
Laranja (Toneladas)	45.866	45.975
Mandioca (Toneladas)	275.892	281.280
Milho (1ª Safra) (Toneladas)	42.737	41.473

Fonte: adaptado de SIDRA – IBGE, 2012.

Segundo Souza (2011), as culturas de milho, arroz, amendoim e algodão do Estado de Alagoas geram, também, uma quantidade de resíduos considerável (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados referentes às quantidades produzidas e de resíduos agroindustriais gerados em Alagoas relativas ao ano de 2006

Principais Produtos Agrícolas	Tipos de Resíduos	Quantidade Produzida (t)	Quantidade de Resíduo (t)
Mandioca (raiz)	Casca	190.684,00	19.068,40
Feijão (em grão)	Casca	42.490,00	29.743,00
Milho (em grão)	Sabugo	38.664,00	8.506,08
Coco (mil frutos)	Casca	50.233,00	15.069,90
Arroz (em casca)	Casca	12.811,00	3.843,30
Algodão Herbáceo (em caroço)	Casca	3.229,00	668,40
Amendoim (em casca)	Casca	48,00	14,40

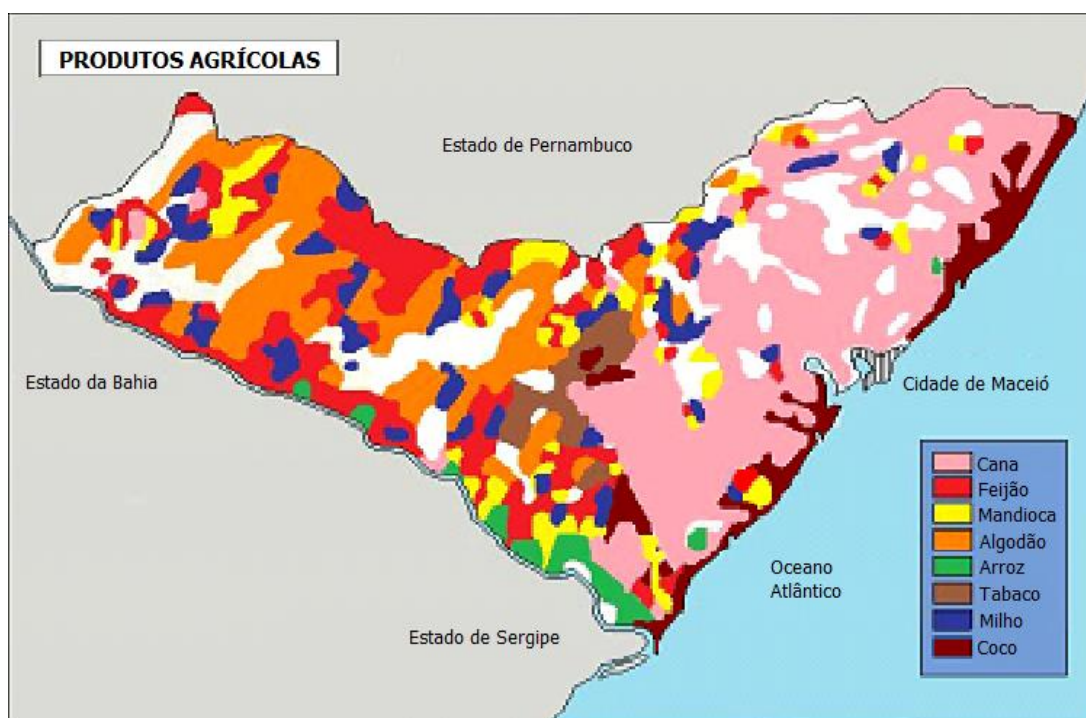
Fonte: IBGE – Dados econômicos da Produção Agrícola Municipal, 2006 e Confederação Nacional dos Municípios (CNM) em Dados Econômicos da Produção Agrícola Municipal, 2006. Adaptada por Souza, 2010.

Observando os dados da safra de 2011 e considerando-se que 30 % do peso do grão de arroz correspondem à casca (CENBIO, 2008) e 60 % do coco correspondem à casca como resíduo agrícola aproveitável (CENBIO, 2008), por exemplo, observa-se que neste ano 6.357 toneladas de casca de arroz e aproximadamente 16,514 toneladas de casca de coco (considerando-se o peso médio de cada coco como sendo igual a 0,500 kg) podem ser aproveitadas para geração elétrica através de queima. No entanto, vale salientar que uma pequena parte desse total já é utilizada normalmente pelas indústrias de processamento de coco.

Cerca de 10 % da mandioca é resíduo na forma de casca (SCAPINELLO *et al.*, 2006). Para o milho 22 % do peso total corresponde ao sabugo (ZIGLIO *et al.*, 2006); no algodão 20,7 % do peso é de casca (EMBRAPA, 2000). No amendoim a porcentagem de biomassa energética (casca) é de 30 % (CENBIO, 2008) e no feijão esse percentual equivale a 70 %.

Na Figura 3 pode-se verificar a distribuição das culturas no Estado de Alagoas.

Figura 3 – Produtos agrícolas e sua localização no mapa do Estado de Alagoas.



Fonte: Frigoletto, 2006. Adaptado do Censo de produção agrícola IBGE apud Souza, 2011.

4.2.2 Produtos de Origem Não Agrícola/Agroindustrial

O Estado de Alagoas possui diversas áreas propícias para o cultivo de espécies vegetais. Muitas dessas espécies possuem características essenciais para aproveitamento como biomassa destinada à queima. Além dos resíduos agrícolas, algumas espécies como o eucalipto e bambu, tem potencial para cultivo energético.

Conforme a Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Agrário – SEAGRI-AL (2011) o estado possui uma área correspondente a 260 mil hectares propensos ao cultivo de eucalipto. Desse total, 120 mil estão identificados e disponibilizados ao plantio. Os municípios de Batalha, Passo do Camaragibe, Rio Largo, Maceió, Cajueiro, Igreja Nova e Teotônio Vilela já possuem variedades plantadas com o intuito de avaliar a adaptação da espécie em cada local e todas estas cidades possuem áreas de plantio que fazem parte do Programa de Cultivo de Eucalipto do Estado de Alagoas.

O gênero *Eucalyptus* compreende um grande número de espécies, com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas bastante diferenciadas. É de fácil adaptação e útil para a geração de energia, além de ser utilizado para produção de papéis, produtos de limpeza, móveis, construção civil etc.

O eucalipto é uma espécie que pode ser utilizada para o desenvolvimento de florestas energéticas, as quais são florestas plantadas com o objetivo de produzir lenha e carvão e evitar a pressão do desmatamento sobre as florestas naturais. Elas contribuem para o fornecimento de biomassa florestal, lenha e carvão de origem vegetal. Além disso, o reflorestamento para uso energético diminui a pressão sobre as florestas nativas e desempenha importante papel na utilização de terras degradadas (SEBRAE, 2012).

Outra cultura, como o bambu, também é de grande interesse. Além de sua tradicional utilização como forrageira animal, artesanato, em móveis e na construção civil, é passível de ser utilizada em plantações energéticas.

O bambu é uma planta que possui cerca de 1.250 espécies, destas, 200 são nativas do Brasil e por volta de 75 espécies nascem nas florestas brasileiras. É o recurso natural e florestal que menos tempo leva para ser renovado e um rápido sequestrador de carbono. Possui características importantes do ponto de vista econômico, já que apresenta crescimento rápido, é de longa duração e se estabelece facilmente. Sua manutenção e colheita são simples, pois não exige

técnicas complexas para criar plantações. Pode ser utilizado como substituto agrônômico em áreas de margens e é utilizado para aperfeiçoar produções que recebem mais atenção do mercado externo, substituindo a madeira em vários pontos (REMADE, 2011).

Duas outras espécies, Sabiá e Capim-elefante, de grande adaptação e disponibilidade no estado são descritas a seguir.

4.2.2.1 Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.)

A espécie Sabiá (Figura 4) é uma árvore de múltiplo uso no Brasil, principalmente na região Nordeste. Seu nome científico é *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth., mas pode ser conhecida como Sabiá, Cebiá, Sansão-do-campo, Angiquinho-sabiá ou Unha-de-gato, dependendo do local em que se encontra. Pertence ao gênero *Mimosa* e à família Mimosaceae (Leguminosae: Mimosoideae) (CARVALHO, 2007).

Figura 4 – Espécie vegetal Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.).



Fonte: Ribaski et al., 2003

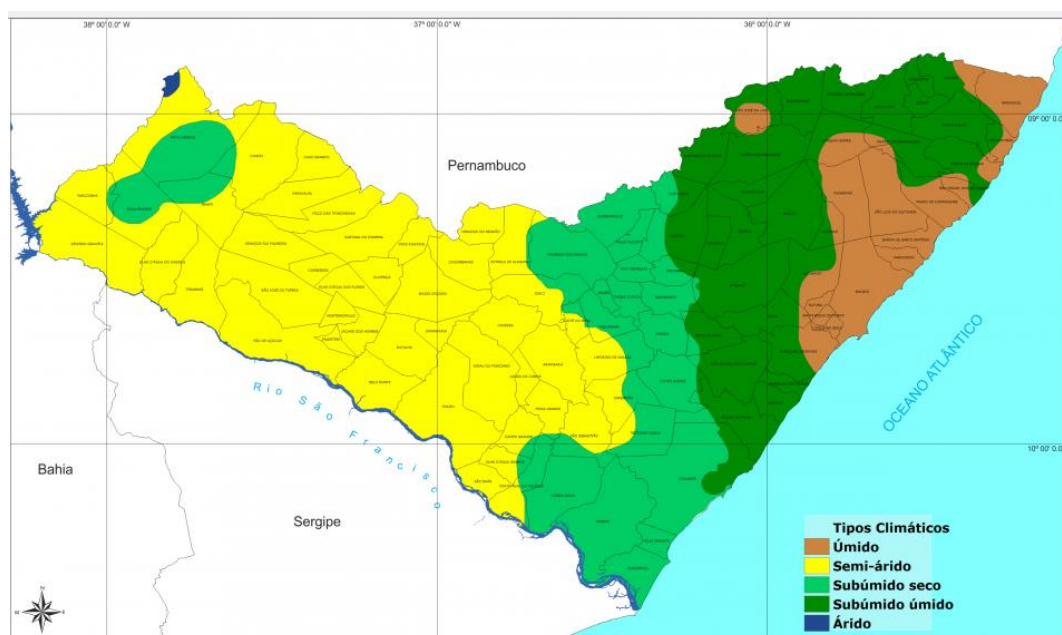
É uma espécie encontrada naturalmente em regiões que apresentam vegetação característica de “Caatinga” semi-úmida, com precipitações variando de

600 a 1.000 mm. Pode ser vista também em áreas mais secas, locais que apresentam temperaturas médias entre 20 e 28 °C e déficit hídrico entre 200 e 1.000 mm. O Sabiá adapta-se também a solos pobres, entretanto, nesses casos, é necessário realizar adubação orgânica ou química, para otimizar os resultados de produção da madeira. É uma planta que cresce preferencialmente em solos profundos (RIBASKI et al., 2003).

Ainda segundo Ribaski et al. (2003), o volume da madeira varia em função da região em que o Sabiá é plantado. No Nordeste do Brasil, em região sub-úmida, obteve-se um volume médio de 46,5 m³/ha em plantações com seis anos de idade e espaçamento de 2 x 2 m (aproximadamente 7,7 m³/ha.ano). Já para as regiões de clima semiárido quente, a produção é em torno 5 m³/ha.ano, em solos areno argilosos (Podzólicos Vermelho-Amarelos) e espaçamentos mais amplos (3 x 2 m).

O Sabiá é recomendado para programas de reflorestamento no Nordeste brasileiro, já que apresenta rápido crescimento e se adapta facilmente ao solo das regiões semiáridas (ALENCAR, 2006). Através da Figura 5, observa-se que a maior parte do Estado de Alagoas apresenta tipo climático favorável ou de fácil adaptação da espécie, evidenciando a ampla possibilidade de disponibilidade de matéria-prima vegetal.

Figura 5 – Tipos climáticos de Alagoas



Fonte: SEPLANDE, 2013.

O Sabiá é uma espécie que cresce rapidamente e chega a atingir 4 m de altura aos 2 anos de idade. Com o objetivo de se obter um maior desenvolvimento das hastes da espécie, realiza-se o cultivo por meio de sistemas seletivo e de talhadia, os quais tem como principal finalidade a produção de madeira de pequenas dimensões e de melhor qualidade. É uma planta rústica e que pode ser explorada com idade variando de 4 a 6 anos e com esse tempo obtém-se estacas e caibros de qualidade, que geralmente são utilizados para cerca (Figura 6), com diâmetro de aproximadamente 8 cm (CARVALHO, 2007).

Figura 6 – Estacas de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.).



Fonte: Ribaski et al., 2003

Carvalho (2007) cita que a madeira do Sabiá pode ser cortada para seu aproveitamento com 5 ou 6 anos de idade e com 8 anos de idade a produção de varas varia entre 4 mil e 9 mil unidades por hectare, em povoamentos com solo Argissolo Vermelho-Amarelo.

A madeira é dura, compacta, de grande durabilidade mesmo quando exposta a umidade ou quando enterrada. Apresenta crescimento cespitoso, ou seja, de um mesmo ponto nascem vários troncos.

Para a multiplicação da espécie utilizam-se sementes ou estacas e, geralmente, o número de sementes por quilo é de 22.400 a 33.000 unidades. As sementes necessitam serem submetidas a processos físicos ou químicos de tratamento para a sua ruptura, já que apresentam problemas de dormência de tegumento, ou seja, há um atraso em sua germinação mesmo em condições climáticas favoráveis. Sementes desse tipo são ditas com casca dura, por não

absorverem oxigênio e/ou água. A formação de mudas pode ser realizada em sacos plásticos, sendo utilizado como substrato uma mistura de terra e esterco na proporção de 1:1. A cultura do Sabiá apresenta as seguintes características: entre 3 e 4 meses depois de ser semeada as plantas alcançam 20 cm de altura, momento no qual a plantação definitiva deve ser feita; a floração ocorre de abril a junho e a frutificação se estende de maio a outubro; a rebrota se inicia sete dias após o corte do tronco. A utilização de sementes de *M. caesalpiniaefolia* forma *inermis* é utilizada quando há problemas relacionados a estacas com presença de espinhos (RIBASKI et al., 2003).

O Sabiá tem semente dura, leve e pequena, de cor castanho claro e de 5 a 8 mm de diâmetro. A casca possui cor marrom-avermelhada nas plantas jovens e cinza acastanhada nas plantas adultas; pode desprender tiras e é fendida no sentido longitudinal. As flores apresentam perfume, são brancas e pequenas. Suas folhas são compostas, bipinadas e o fruto é um craspédio plano com 7 a 10 cm x 10 a 13 mm x 1,0 a 1,2 mm (comprimento x largura x espessura) (RIZZINI, 1995; LORENZI, 2000 apud ALENCAR, 2006).

A espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. possui várias aplicações. Entre os principais usos da madeira destacam-se como fonte de estacas, mourões e varas, sendo resistente a pragas, fungos e insetos. A madeira do Sabiá é indicada para a produção de carvão vegetal, em função das suas boas características físico-químicas. Podem ser utilizadas como tutores para apoio e sustentação das plantações de uvas (*Vitis vinifera* L.).

Sabiá também é utilizada como quebra-vento ou cerca-viva – espécie de muro com função de delimitação de espaço, dar segurança, privacidade e ornamentação – em diversas partes do país para cercar fazendas, loteamentos, indústrias e áreas de mineração, cuja função, nesse último tipo é a de reduzir a poeira e o impacto visual que advém dessa atividade (BARBOSA; SILVA; BARROSO, 2008).

As folhas – de alto valor nutritivo – e frutos maduros ou secos são forragens para bovinos, caprinos e ovinos, com teor de proteína bruta de 13,48 % a 17,06 % (CARVALHO, 2007). É uma planta apícola, além de ser utilizada na medicina caseira.

Além de suas aplicações mais comuns pode-se pensar no Sabiá como alternativa para o desenvolvimento de florestas energéticas no Estado de Alagoas,

visto que essa espécie apresenta características de rápido crescimento, produção de lenha e carvão de boa qualidade e até mesmo resistência à seca.

4.2.2.2 Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.)

O Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem origem no continente africano e é uma gramínea (Figura 7) trazida ao Brasil com a finalidade de alimentação bovina, no entanto percebeu-se sua adaptação a solos pobres em nutrientes, crescimento em períodos de estiagem sem a necessidade de adubo e sua robustez em comparação a outros tipos de capim. Por ser uma planta que pode ser cultivada em terras degradadas, possui a característica de não interferir nas plantações de culturas alimentícias, além disso, seu metabolismo é do tipo C4, estando mais adaptadas a altas temperaturas, transformando luz solar em biomassa com altíssima produtividade. O cultivo de Capim-elefante é perene e dura cerca de vinte anos sem a necessidade de ser renovado, contribuindo para a preservação da qualidade do solo, evitando a erosão e lixiviação de nutrientes (REVISTA BRASILEIRA DE BIOENERGIA, 2011).

Figura 7 – Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.).



Fonte: Revista Brasileira de Bioenergia, 2011.

Esse tipo de capim pertence à família *Gramineae* ou *Poaceae* e ao gênero *Pennisetum*. Esse gênero compreende mais de 140 espécies, entre elas está o *Pennisetum purpureum* (LIRA et al, 2010).

Ainda segundo a Revista Brasileira de Bioenergia (2011), atualmente 1 MW de potência é obtido com uma plantação de Capim-elefante de apenas 133 hectares. Logo, estima-se que se pode atender a demanda energética no Brasil com a utilização de 3,5 % das terras agricultáveis do país. Essa eficiência do vegetal celulósico faz com que a necessidade de área para seu plantio seja menor do que a de outros cultivos energéticos.

O Capim-elefante é conhecido em todo o Brasil, sendo apontado como uma espécie de grande potencial energético. Morais (2008) afirma que os genótipos mais comuns de Capim-elefante utilizados para uso energético são o Cameroon, Gramafante, CNPGL F 06-3 e CNPGL F 79-2, Bag e Roxo. Para Quesada (2005) o Cameroon se apresenta como um dos genótipos mais produtores como fonte de energia alternativa; o Gramafante possui índice elevado de emissão de brotação lateral (perfilhamento), característica fundamental quando o objetivo é o da biomassa para fim energético; o CNPGL F 06-3 e o CNPGL F 79-2 crescem rapidamente após o corte; o genótipo Bag possui alto teor de fibra, tendo assim um excelente valor energético e o Roxo apresenta um alto potencial produtivo de matéria-seca, além de proporcionar boas características qualitativas dessa biomassa.

Este tipo de gramínea pode contribuir de forma eficaz para aumentar o conteúdo de matéria orgânica ou o sequestro de carbono no solo, pois apresenta um sistema radicular bem desenvolvido (MORAIS, 2008).

Como já foi mencionado, o Capim-elefante está entre as espécies de alta eficiência fotossintética (melhor aproveitamento da luz), resultando numa grande capacidade de geração de matéria seca. É uma espécie de porte ereto e que consegue atingir mais de 3 m de altura, crescendo de maneira cespitosa. Adapta-se bem desde o nível do mar até as altitudes de 2.200 m, com temperaturas de 18 a 30 °C e precipitação de 800 a 4.000 mm (QUESADA, 2005). Como é visto na Figura 5, o Capim-elefante adapta-se a uma grande faixa de tipos climáticos do Estado de Alagoas, excetuando-se apenas a região semi-árida, onde as chuvas são de baixa frequência e concentradas em curto espaço de tempo.

Morais (2008) cita que o Capim-elefante detém uma ferramenta relevante para a diminuição dos custos de desenvolvimento da espécie e aumento do balanço energético da cultura, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), uma grande fonte auxiliadora na possibilidade do Capim-elefante ser usado com finalidade de geração de energia.

Estudos mostram que cada hectare plantado com esse tipo de capim gera cerca de 40 toneladas de biomassa seca que pode virar energia. Comparando-se o Capim-elefante com um hectare plantado de cana-de-açúcar, obtêm-se entre 15 e 20 toneladas de biomassa e a mesma área plantada com eucalipto derivam entre 10 e 15 toneladas de massa seca. Observando o tempo necessário para utilização de cada planta como biomassa para geração de energia, vê-se que o Capim-elefante pode ser colhido após seis meses de plantio e a retirada da planta acontece até duas vezes por ano. Para a cana-de-açúcar é necessário ao menos doze meses para a primeira colheita e o eucalipto requer cerca de sete anos para alcançar um bom tamanho para o corte. Logo, observa-se que o Capim-elefante é, atualmente, umas das espécies com grande produção por hectare de biomassa (REVISTA ÉPOCA, 2010).

Trabalhos desenvolvidos por Strezov, Evans, Hayman (2008) demonstram que os solos brasileiros não aráveis tem um potencial para produzir cerca de 1,2 Gt de carvão e 2 Gt de bio-óleo anualmente a partir de Capim-elefante. Isso acontece porque essa planta é de rápido crescimento e tem alto potencial para uso na produção desses produtos oriundos de biomassa.

Lira et al. (2010) diz que um dos principais parâmetros a serem analisados no estabelecimento do Capim-elefante para produção de energia é a maior eficiência da utilização de fertilizantes, em que há a otimização da produção de biomassa por unidade de adubo aplicado, diferentemente do cultivo da gramínea para produção animal, onde a matéria seca produzida pelas plantas forrageiras devem ser ricas em nitrogênio. Essa relação é de grande importância para essa gramínea, pois conforme Peixoto, Moura, Faria (1993), o Capim-elefante é uma das pastagens que requerem maior quantidade de nutrientes.

Uma das formas de utilização do Capim-elefante e do Sabiá para fins energéticos é a realização do procedimento de compactação, o qual favorece um aumento do poder calorífico da biomassa.

4.3 Compactação da Biomassa

Como citado anteriormente, visando um maior aproveitamento energético das espécies utilizadas para a queima direta em fornos, busca-se a compactação.

O processo de compactação é utilizado quando se pretende aglomerar partículas pequenas de biomassa formando-se blocos, que possuem maior concentração de energia e menor volume do material, favorecendo assim o transporte e a armazenagem.

Quando há necessidade de se obter blocos de formas definidas e com tamanhos superiores, prensam-se pequenas partículas de material sólido, realizando dessa forma, o que se chama de briquetagem.

A compactação de resíduos ligno-celulósicos gera briquetes com densidade energética de 2 a 5 vezes maior que os diversos tipos de lenha. Quando esta técnica é realizada a altas temperaturas e pressões, não existe a necessidade de utilização de aglomerantes para manter os briquetes firmes, já que esse processo, denominado de densificação, provoca a plastificação da lignina existente no material (RENDEIRO. In: RENDEIRO et al., 2008).

Ainda segundo Rendeiro. In: Rendeiro et al. (2008) a técnica de criação de briquetes é realizada por meio de prensa hidráulica, mecânica ou de rolos em que a força gerada após uma pressão aquece e faz o material passar por a boquilha de dimensões variando de 20 mm até 105 mm. Os briquetes são semelhantes aos péletes e a diferença básica está nas dimensões dos dois. Para este último tipo de compactação obtém-se péletes com diâmetro entre 5 e 15 mm, 30 mm e massa específica variando entre 1.000 e 1.300 kg/m³. A peletização é feita por uma prensa que consiste de um rolo e uma matriz.

Devido à disponibilidade de equipamentos e em virtude do presente trabalho estar entre os primeiros estudos do Grupo de Pesquisa em Biomassa para Energia (GPBIOEN) optou-se pela compactação das biomassas estudadas em escala laboratorial, produzindo-se pastilhas que simulam os briquetes.

As espécies utilizadas para a compactação serviram de base para o desenvolvimento de um estudo econômico destinado à simulação do cultivo de culturas energéticas de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no assentamento rural São Luiz, localizado no município de Atalaia, Estado de Alagoas. Essas plantações serviriam para o

abastecimento das necessidades energéticas da indústria de cerâmica vermelha Bandeira, como é visto no texto a seguir.

4.4 Possibilidade de Utilização das Espécies Vegetais em Cerâmica do Estado de Alagoas: Estudo de Caso da Cerâmica Bandeira

O Brasil ocupa uma posição de destaque entre os países de maior produção de materiais cerâmicos, como a China, Espanha e Itália, no entanto, apenas uma pequena parte dos produtos é comercializada no exterior. A região brasileira de maior produtividade é a Sudeste. O Nordeste encontra-se em terceiro lugar no ranking dos estados de maior importância no setor de cerâmica vermelha e geralmente as empresas instaladas nessa parte do país localizam-se na Zona da Mata e no Semiárido. Nesses locais há uma grande concentração de indústrias do tipo, devido principalmente à proximidade da fonte de matéria-prima, ou seja, as jazidas de argila. Por esse motivo, a prática dessas indústrias está associada à degradação do meio ambiente, pois a lenha, principal insumo gerador de energia, parte das vezes é oriundo da vegetação nativa dessas regiões. Com isso devem-se evitar problemas ambientais decorrentes da utilização de lenha de origem desconhecida, substituindo total ou parcialmente por matérias-primas livres de causar impactos ambientais e que possuam características físico-químicas comparáveis ao que é utilizado nos fornos cerâmicos atuais (REINALDO FILHO; BEZERRA, 2010).

Ainda segundo Reinaldo Filho, Bezerra (2010) o segmento de cerâmica vermelha utiliza em seus fornos, combustíveis como a lenha composta por espécies nativas da região (cerca de 50 %) e resíduos oriundos de madeira (cerca de 40 %), que são o cavaco, a serragem, os briquetes e outros resíduos. Devido ao aumento da fiscalização e da preocupação com o meio ambiente busca-se o uso de madeira de reflorestamento visando à sustentabilidade energética das empresas.

Segundo o Sindicato da Indústria Cerâmica do Estado de Alagoas (SINDICER-AL), existem atualmente em funcionamento 34 empresas produtoras de cerâmica vermelha no estado. Destas, 31 estão associadas ao sindicato e parte do total encontra-se em ampliação. Além disso, nos próximos três anos há previsão de

inauguração de 5 novas cerâmicas. Desse total, 5 fazem parte do projeto SINDICER-AL/UFAL e estão distribuídas conforme a Figura 8.

Uma alternativa para os ceramistas alagoanos seria a aquisição de matéria-prima a partir de florestas energéticas plantadas em assentamentos rurais instalados próximos às indústrias produtoras de telhas e blocos, já que a maioria delas está localizada em municípios que possuem áreas com esse tipo de projeto de reforma agrária.

Figura 8 - Localização das cerâmicas do projeto SINDICER – AL/UFAL.



Fonte: Souza, 2011.

4.4.1 Cerâmica Bandeira

A Cerâmica Bandeira LTDA. foi fundada em 1980 na Fazenda Bandeira, situada no município de Capela, distante 70 km de Maceió, capital do Estado de Alagoas. No início apresentava uma pequena produção de tijolos com um quadro funcional de 30 pessoas, mas no final da década de 80, com investimentos em equipamentos e gerando, conseqüentemente, um aumento no seu corpo funcional, a empresa passou a ser uma das maiores produtoras de cerâmica vermelha do estado, oferecendo um significativo apoio social à comunidade local, uma vez que gerou empregos às famílias carentes daquele município.

A partir do ano de 1996 foram feitos novos investimentos relacionados à compra de equipamentos industriais, novos fornos, sistema de secagem etc. Toda esta evolução tinha como intuito diversificar e elevar a qualidade de seus produtos para atender o mercado cada vez mais exigente. Devido a essa necessidade, criou-se a Cerâmica Capelli, voltada exclusivamente para a fabricação de telhas. As duas empresas fornecem produtos para o mercado estadual e regional, além de ser a maior fonte privada geradora de emprego do município, não esquecendo os compromissos relacionados com o meio ambiente.

Utiliza combustíveis renováveis e evita emissões de CO₂ em torno de 40 mil toneladas ao ano, gerando créditos de carbono que são negociados no mercado brasileiro, europeu e asiático.

A cerâmica Bandeira apresenta 90 funcionários e fabrica os seguintes produtos: blocos de vedação, lajotas, telhas extrudadas e telhas prensadas. E possui 5 fornos reversíveis (4 do tipo Abóbada e 1 do tipo Metálico Móvel) e 1 forno semicontínuo (tipo Hoffmann). Em seus fornos utiliza-se cerca de 2.800 m³ estéreo de combustível/mês, a qual é composta das espécies eucalipto, cajueiro, mangueira, casca de coco, algaroba e pó de serra.

4.4.2 Assentamentos Rurais em Alagoas

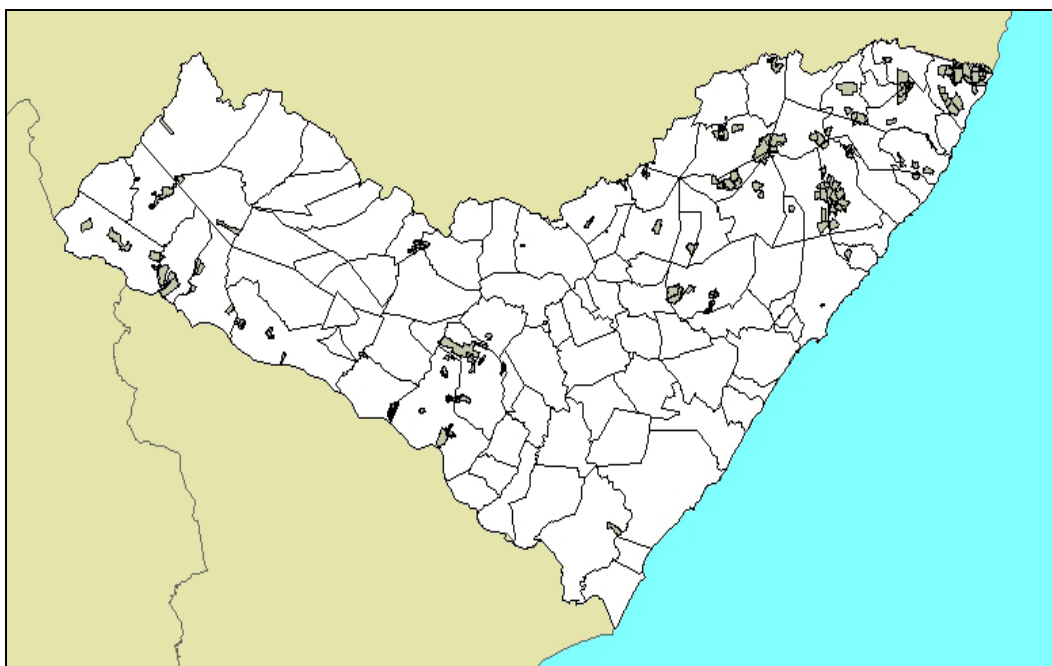
No Brasil, até o fim do ano de 2011, existiam 8.865 projetos de assentamento divididos em 87.559.858,9467 hectares. No Estado de Alagoas, no mesmo período, existiam 12.530 famílias assentadas distribuídas em 165 projetos de assentamentos (Figura 9), cuja área total somava 109.049,0698 hectares de terra (MPF, 2013).

Segundo Carvalho (1999), assentamento pode ser considerado como a formação constituída por grupos de famílias de trabalhadores rurais e que vivem e produzem em imóvel de característica rural. A obtenção de terras se dá na maioria das vezes através de lutas sociais pela redistribuição da posse da terra, mas também pode haver desapropriação de uma determinada área rural sob propriedade privada para fins de reforma agrária.

As regiões rurais são o ambiente onde se encontram os mais altos índices de incidência de pobreza (ESQUERDO; BERGAMASCO, 2013). Quando se toma em consideração o processo de Reforma Agrária no nordeste do país percebe-se que

programas de políticas públicas ainda são deficientes na região. Esse fato é agravado pelos elevados percentuais de analfabetismo, dificultando processos de desenvolvimento rural e cooperativismo, fundamentais à emancipação econômica dos assentamentos (LIMA; LOPES, 2012). Por esse motivo se faz necessário a criação de fontes de renda para essa população residente nos assentamentos rurais.

Figura 9 - Localização de assentamentos no Estado de Alagoas.



Fonte: SEPLANDE/SINC/DGEO, 2012.

de longitude oeste). Dessa espécie coletou-se aproximadamente 1,0 kg de folhas e 1,5 kg do caule da espécie vegetal no mês de outubro do ano de 2011 à outubro de 2012. Os materiais foram colocados em sacos plásticos e levados para os laboratórios do Grupo de Catálise e Reatividade Química da UFAL (GCaR - UFAL) para processamento e realização de análises e procedimentos físico-químicos (trituração, secagem, granulometria, compactação, densidade, teor de umidade, poder calorífico superior, teor de voláteis, teor de cinzas) e determinação do poder calorífico inferior e teor de carbono fixo. Todas essas propriedades são importantes para a caracterização energética da biomassa, além de seu manuseio e transporte.

5.1.2 Amostras de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.)

Para as amostras de folhas e colmos de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) realizou-se o estudo com amostras de duas variedades: verde (Cameroon) e roxa (Roxo), encontradas no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), localizado na cidade de Rio Largo, Estado de Alagoas (coordenadas geográficas de 9°28'42" de latitude sul e 35°51'12" de longitude oeste). Para os experimentos/procedimentos de trituração, secagem, granulometria, compactação, densidade, teor de umidade, poder calorífico superior, teor de voláteis, teor de cinzas e determinação do poder calorífico inferior e teor de carbono fixo, foram coletadas aproximadamente 1,0 kg de cada genótipo do Capim-elefante. As análises das folhas e dos colmos das amostras foram realizadas nos laboratórios do GCaR - UFAL, por metodologias descritas a seguir.

5.2 Fases de Processamento das Amostras

As fases de processamento das folhas e caules do Sabiá e das folhas e colmos de Capim-elefante compreendem as etapas iniciais quando se realiza pesquisas direcionadas ao uso de biomassas para aplicação em setores produtivos que utilizam queima em seus processos. Elas podem ser divididas em trituração,

secagem, granulometria e compactação e o resumo de suas aplicações são visualizadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Resumo das fases de processamento das amostras

Fase de pré-tratamento	Finalidade
Trituração	Diminuição do tamanho das amostras
Secagem	Redução da quantidade de água
Granulometria	Separação das partículas do material com dimensões semelhantes
Compactação	Formação de blocos para maior concentração de energia

Fonte: autor, 2013.

5.2.1 Trituração

A trituração é um pré-requisito para a reutilização de diversos produtos, dentre os quais se torna imprescindível em se tratando do emprego da biomassa para obtenção de energia. Este processo é importante porque na maioria das vezes se visa a redução das amostras a dimensões abaixo de 5–20 mm, proporcionando uma melhor alimentação no forno/fornalha com aumento significativo da área do combustível. Geralmente na trituração, os equipamentos estão sequenciados com o objetivo de diminuição do tamanho das partículas do material. Alguns equipamentos utilizados para trituração de biomassa são o moinho de martelos, moinho de bolas, moinho pendular e moinho de barras (RENDEIRO. In: RENDEIRO et al, 2008).

Para o presente trabalho optou-se pela utilização de uma forrageira para a trituração das amostras e consequente diminuição das suas dimensões.

5.2.2 Secagem

O processo de secagem deve ser realizado para a maioria das espécies destinadas a obtenção de energia. Ele promove a evaporação da água contida no

material por transferência de calor, a qual é realizada por diferença de temperatura, diminuindo, dessa forma, o teor de umidade da biomassa. Utiliza-se ar para transferir o calor da fonte quente para a fonte fria (biomassa úmida). Esse calor é responsável pela vaporização da água e a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do material determina uma transferência de água para o ar. A velocidade com que ocorre a secagem depende de fatores como temperatura, umidade relativa, fluxo de ar, tempo de exposição do material, teores inicial e final de água e características próprias da biomassa a ser seca (RENDEIRO. In: RENDEIRO et al., 2008).

As folhas e os colmos de Capim-elefante foram secos sob duas formas: ao sol por um total de 15 horas durante vários dias e em estufa de secagem a 40 °C para redução da umidade das amostras para uma faixa correspondente a 8 – 12 %, pois para valores próximos a esta faixa há um aumento do poder calorífico do material (IRMÃOS LIPPEL & CIA LTDA, 2011). As folhas do Sabiá também foram secas em estufa a 40 °C e ao sol por aproximadamente 20 horas em vários dias.

Além disso, evita-se reduzir o teor de umidade para valores inferiores a 8 %, pois abaixo disso dá-se início ao processo de decomposição da estrutura molecular da madeira, promovendo a mudança da coloração da biomassa para preto. A explicação para esse fato está na tensão causada no material, originada pela perda de água que faz parte da composição macro da madeira e está ligada às paredes de celulose (NOGUEIRA, RENDEIRO. In: RENDEIRO et al., 2008).

As amostras de caule de Sabiá não necessitaram de procedimento inicial de secagem, pois o teor de umidade determinado se encontrava na faixa citada anteriormente (8 a 12 %).

5.2.3 Granulometria

Devido à heterogeneidade das espécies vegetais estudadas, faz-se necessário o ensaio granulométrico a fim de se obter amostras com dimensões semelhantes.

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas

representa na massa total ensaiada. A determinação da granulometria do material foi feita através de um jogo de peneiras.

As amostras são previamente quarteadas e secas em estufa à 105 °C, por uma 1 hora. A seguir, pesa-se cerca de 500 g de cada amostra em balança semi-analítica, submetendo-as ao jogo de peneiras com diferentes tramas de malhas, colocadas em série, verticalmente, decrescendo a espessura da malha de cima para baixo, por 20 minutos, mediante um sistema vibratório para a sua classificação.

As especificações das malhas das peneiras que serão empregadas nos ensaios seguem na Tabela 4. A numeração das malhas obedece à escala da ABNT/ASTM e TYLER/MESH.

Tabela 4 – Especificação das malhas das peneiras utilizadas na análise granulométrica

ABNT/ASTM	TYLER/MESH	Abertura (mm)
20	20	0,850
40	35	0,425
70	65	0,212
140	150	0,106
270	270	0,053

Fonte: autor, 2013.

Com o objetivo de se trabalhar com o material mais próximo da homogeneidade, nas análises desenvolvidas optou-se pela utilização de amostras com granulometria variando de #35 (35 mesh) à #150 (150 mesh).

5.2.4 Compactação

Como foi mencionado, o presente trabalho busca, também, o estudo da biomassa compactada, realizando assim as análises descritas nos outros tópicos.

Para a obtenção das pastilhas que simularam os briquetes (Figura 11) pesou-se 0,5000 g (quantidade adequada para a capacidade do pastilhador) de cada amostra, anteriormente triturada. Em seguida, transferiu-se a amostra pesada e seca para o pastilhador, o qual foi fechado adequadamente de acordo com as instruções

do fabricante e compactado numa prensa hidráulica de bancada Carver (modelo C), sofrendo uma pressão em torno de 6 e 7 psi num intervalo de tempo de aproximadamente três minutos. Após tal procedimento é retirada a amostra do equipamento em forma de pastilhas, que simulam os briquetes, para avaliação físico-química (SOUZA, 2011).

Figura 11 – Pastilhas que simulam os briquetes.



Fonte: autor, 2013.

5.3 Propriedades Físico-Químicas das Biomassas Estudadas

Essas etapas são quantificadas após as fases de processamento das amostras. Conforme a Tabela 5, são divididas em densidade, teor de umidade, poder calorífico superior, poder calorífico inferior, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

Tabela 5 – Resumo das fases de processamento das amostras

Propriedade físico-química	Finalidade
Densidade	Relação entre a massa e o volume ocupado pelo material
Teor de umidade	Determinação do teor de água da biomassa
Poder calorífico superior	Quantificação do calor liberado pela combustão da biomassa
Poder calorífico inferior	
Teor de voláteis	Indicação da facilidade de queima da amostra
Teor de cinzas	Determinação da quantidade de resíduos gerados na combustão
Teor de carbono fixo	Determinação quão mais lenta a biomassa queima

Fonte: autor, 2013.

5.3.1 Densidade

Para a determinação da densidade das espécies vegetais utilizou como referência os procedimentos contidos na ABNT NBR 6922.

Pesou-se 5,0 g de amostra e transferiu-se para um balão volumétrico de massa e volume conhecidos. Em seguida, o conjunto balão e amostra foram pesados. Foi adicionada água até a marcação do volume do balão e posteriormente a realização de uma nova pesagem.

Considerando a densidade da água ($1,0 \text{ g/cm}^3$) e relacionando-se a massa de água com seu volume, juntamente ao volume do balão, faz-se a razão entre a massa da amostra e o volume por ela apresentado (Equação 1). Dessa forma, é calculada a densidade (g/cm^3) das folhas e caule do Sabiá e das folhas e colmos do Capim-elefante.

$$d = \frac{m_{amostra}}{v_{amostra}} \quad (1)$$

Onde:

- $m_{amostra}$ = massa da amostra;
- $v_{amostra}$ = volume apresentado pela amostra.

5.3.2 Teor de Umidade

O teor de umidade afeta as propriedades físicas de uma substância, como o peso, a densidade, a viscosidade, o índice de refração, a condutividade elétrica, entre outras. Para determinar este teor, se utilizam técnicas químicas, termogravimétricas ou de perda na secagem, seguindo as normas ABNT NBR 8112 (SOUZA, 2011).

Para determinação do teor de umidade utilizou-se uma estufa de secagem. Inseriu-se 1,0 g de amostra em um cadinho de porcelana de massa conhecida e previamente seco e o conjunto foi levado para a estufa previamente aquecida a $105 \text{ }^\circ\text{C}$. O tempo de permanência na estufa foi o necessário para obtenção de massa constante. Após este tempo o material foi retirado e colocado no dessecador para

posterior pesagem e cálculo da umidade. A massa que foi perdida na secagem corresponde à massa de água, relacionando-se com a massa inicial da amostra (massa úmida) encontra-se o teor de umidade (% p/p), como é visto na Equação 2.

$$T_{umidade} = \frac{\text{massa de água}}{\text{massa inicial}} \times 100 \% \quad (2)$$

Onde:

- massa de água = massa úmida da amostra – massa seca da amostra após retirada da estufa;
- massa inicial = massa da amostra úmida.

5.3.3 Poder Calorífico Superior

Por definição, poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de calor liberado pela queima, de modo que a água proveniente da combustão esteja em estado líquido (LIMA; ABDALA; WENZEL, 2008). Para a determinação do poder calorífico das folhas e caule do Sabiá e das folhas e colmos do Capim-elefante utilizou-se um Calorímetro IKA C 200 (ASTM D-2382), seguindo as normas ABNT NBR 8633/84.

Para a análise de PCS o procedimento está descrito a seguir. A amostra foi colocada num pequeno cadinho no interior da bomba calorimétrica. Essa câmara de combustão de aço inox, capaz de resistir a grandes pressões, tem válvula para a admissão de oxigênio e também contatos elétricos para provocar a inflamação da amostra. Depois que a amostra é inserida, a bomba é hermeticamente fechada e recebe carga de oxigênio sob pressão de aproximadamente 25 kgf/cm². A bomba calorimétrica é então imersa no calorímetro (vaso que apresenta excelente isolamento térmico) que contém massa de água conhecida, sob agitação. O sistema trabalha em condições adiabáticas, não havendo perda nem ganho de calor do calorímetro para as vizinhanças (OPERATING INSTRUCTIONS IKA C 200, 2011).

Quando todos os componentes dentro do calorímetro atingem uma temperatura uniforme e constante, provoca-se a inflamação da amostra, mediante uma corrente elétrica que passa por um fio condutor que fica em contato com a mesma. O calor liberado na combustão causa a elevação da temperatura da água. Esta temperatura é cuidadosamente medida, com um termômetro de precisão de

Beckmann, antes e depois do término da reação, quando a temperatura no interior do calorímetro é novamente constante. A variação de temperatura ΔT , observada no calorímetro é proporcional ao calor que a reação liberta ou absorve (OPERATING INSTRUCTIONS IKA C 200, 2011).

Após o fim do processo tem-se o valor do PCS dado nas unidades J/g.

5.3.4 Poder Calorífico Inferior

Segundo Garcia (2002) o poder calorífico de um combustível é definido como a quantidade de calor desprendida na sua queima completa, estequiometricamente. Caso esta quantidade de calor seja medida considerando a água gerada na queima estando na fase gasosa, o poder calorífico é chamado de Poder Calorífico Inferior (PCI) e caso a água gerada na combustão seja considerada na fase líquida tem-se o Poder Calorífico Superior (PCS). A diferença entre eles é, portanto, a entalpia de vaporização da água formada pela queima do hidrogênio contido no combustível e da água já contida do combustível como unidade do mesmo.

Assim, a relação matemática entre o PCS e o PCI é dada pela Equação 3 (BAZZO, 1995).

$$PCI = PCS - 2440 \times (9 \times H + U) \quad (3)$$

Onde:

- PCI - Poder Calorífico Inferior [kJ/kg] em base seca;
- PCS - Poder Calorífico Superior [kJ/kg];
- H - Teor de hidrogênio do combustível [kg/kg] em base seca;
- U - Teor de umidade do combustível [kg (H₂O)/kg (combustível seco)].

Pode-se observar que quanto maior a umidade do material, menor o PCI do combustível.

O teor de hidrogênio (H) em biomassas. Para este estudo considerou-se a variável H sendo igual a 0,065, já que em biomassas o teor de hidrogênio varia de 6 a 6,5 %. De acordo com a expressão matemática mencionada para o cálculo do PCI

(Equação 3) o valor obtido para o mesmo é mínimo quando utiliza-se um teor de H igual a 6,5 % (RANADE; KAWRE, 2010 apud SOUZA, 2011).

5.3.5 Teor de Voláteis

Segundo McKendry (2002), o teor de voláteis é a parte impulsionada como um gás (incluindo umidade) por aquecimento, logo, determina a facilidade com que uma biomassa queima. Conforme a ABNT NBR 8112, é quantificado medindo-se a fração de massa do material que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca de biomassa, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850 °C num forno mufla por 7 minutos (NOGUEIRA, RENDEIRO. In: RENDEIRO et al., 2008). Após esse procedimento relacionam-se as massas antes e após o experimento (Equação 4), ambas em gramas, e calcula-se o teor de voláteis em porcentagem de base seca.

$$T_{voláteis} = \frac{\text{massa de voláteis}}{\text{massa inicial}} \times 100 \% \quad (4)$$

Onde:

- massa de voláteis = massa da amostra seca após retirada da mufla;
- massa inicial = massa da amostra úmida.

5.3.6 Teor de Cinzas

As cinzas constituem o material inorgânico próprio do combustível e geralmente são constituídas por silício, potássio, sódio, enxofre, cálcio, fósforo, magnésio e ferro. Elas são distribuídas através da biomassa energética e é algumas vezes referente ao material disperso atômicamente (KLAUTAU, 2008).

As cinzas da biomassa em alta concentração podem diminuir o poder calorífico e também causar perda de energia (STREHLER, 2000). Além disso, a

presença desses resíduos prejudica o processo de transferência de calor, e por isso as cinzas devem ser removidas manualmente (LEWANDOWSKI; KICHERER, 1997).

Para a determinação do teor de cinzas utiliza-se a norma ABNT NBR 8112.

As cinzas podem ser quantificadas em um forno mufla sob controle de massa, temperatura, tempo e atmosfera, onde 1,0 grama de material, sem umidade e voláteis, é levado ao equipamento por 1 hora à temperatura de 710 °C. Ao fim do procedimento tem-se o produto resultante da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos, sobrando dentro do cadinho somente as cinzas (NOGUEIRA, RENDEIRO. In: RENDEIRO et al., 2008). O teor de cinzas é quantificado conforme a Equação 5.

$$T_{cinzas} = \frac{\text{massa de cinzas}}{\text{massa inicial}} \times 100 \% \quad (5)$$

Onde:

- massa de cinzas = massa da amostra seca e sem voláteis após retirada da mufla;
- massa inicial = massa da amostra úmida.

5.3.7 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo representa a massa restante após a liberação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002). Para a sua determinação utiliza-se a norma ABNT NBR 8112.

Segundo Nogueira, Rendeiro. In: Rendeiro et al., (2008) após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil ($T_{voláteis}$) e de cinzas da amostra (T_{cinzas}), o teor de carbono fixo ($T_{carbono\ fixo}$) é obtido por diferença, ou seja:

$$T_{carbono\ fixo} = 100 - (T_{voláteis} + T_{cinzas}) \quad (6)$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados apresentados a seguir foram obtidos para as folhas e o caule da espécie vegetal Sabiá e para as folhas e colmos do Capim-elefante (variedades verde – Cameroon – e roxa – Roxo) e apresentam os valores dos desvios-padrão correspondentes. As determinações foram feitas em triplicata tanto para as espécies não compactadas como para as compactadas, realizando-se, dessa forma, uma análise comparativa.

6.1 Caracterizações Físico-Químicas da Espécie Sabiá

Após a trituração e análise granulométrica das folhas e do caule do Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) foram realizadas determinações de densidade, teor de umidade, poder calorífico superior, poder calorífico inferior, teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo.

O ensaio granulométrico ocorreu através de um jogo de peneiras, como se vê na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e caule do Sabiá

Posição das amostras presentes/passantes em cada peneira	Dimensão da amostra (mm)	Massa	
		das folhas (%)	Massa do caule (%)
Presente na malha #20	> 0,850	71,87	80,18
Passante pela malha #20	0,850	17,00	8,83
Passante pela malha #35	0,425	8,50	7,08
Passante pela malha #65	0,212	2,08	2,53
Passante pela malha #150	0,106	0,55	1,02
Passante pela malha #270	≤ 0,053	-	0,36

Fonte: autor, 2013.

Nota-se que a trituração fornece principalmente amostras de dimensão maiores que 0,850 mm. Logo, para a obtenção de uma maior quantidade de material

homogêneo é necessária outra etapa de trituração com a forrageira. Uma alternativa seria a substituição do equipamento utilizado nessa fase de processamento por picotadores fixos ou móveis, ou caso necessite material com granulometria ainda menor, poder-se-ia realizar o processo de moagem utilizando um moinho.

A densidade é de fundamental importância para o transporte e armazenamento da biomassa. Dados de densidade (g/cm^3) para as amostras não compactadas e compactadas podem ser vistas na Tabela 7. Vemos que não houve diferença entre as determinações para as amostras não compactada e compactada do caule, apesar de saber-se, segundo a literatura, que uma mesma massa de biomassa ocupa menor volume quando se encontra na forma de briquetes e, conseqüentemente, apresenta maior densidade. Provavelmente, isto se deve ao fato dos briquetes constituídos pelo caule de Sabiá não resistirem à água, perdendo sua forma durante o ensaio experimental. Para as folhas de Sabiá, como era previsto, a densidade do material compactado foi superior ao não compactado, demonstrando maior estabilidade de forma em meio úmido.

Tabela 7 – Resultados de densidade das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas	Caule
	Densidade (g/cm^3)	Densidade (g/cm^3)
Não compactada	0,72 ± 0,03	0,76 ± 0,01
Compactada	0,82 ± 0,02	0,76 ± 0,02

Fonte: autor, 2013.

As folhas de Sabiá apresentaram umidade inicial de 43,64 %, dessa forma secou-se previamente o material para redução da quantidade de água presente no material e posterior obtenção do poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI).

A determinação do teor de umidade inicial das amostras de caule de Sabiá mostrou o valor de 8,81 %, demonstrando a não necessidade de secagem do material para ser utilizado como fonte energética. A partir desse dado, considerando o teor de hidrogênio como 0,065 (6,5 %) e utilizando os dados de poder calorífico

superior, através da Equação 3 [$PCI = PCS - 2440 \times (9 \times H + U)$] pode-se calcular os valores de poder calorífico inferior (Tabela 8).

Através dos dados da Tabela 8 observa-se que houve um aumento da concentração de energia da biomassa, considerando a mesma umidade, quando se compactou as amostras de caule do Sabiá. No entanto, o mesmo aumento não foi obtido para as folhas. Uma explicação para esse fato estaria relacionada a um problema do calorímetro, não mensurando o poder calorífico da biomassa de forma coerente. Outro ponto a considerar seria a absorção de umidade por parte das pastilhas das folhas de Sabiá, acarretando uma diminuição do PCS e do PCI.

Tabela 8 – Resultados de PCS, umidade e PCI das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas			Caule		
	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)
Não compactada	18.087,50 ± 91,22	8,40 ± 0,14	16.455,14	17.490,00 ± 55,15	8,81 ± 0,06	15.847,64
Compactada	17.730,00 ± 26,87	8,40 ± 0,14	16.097,64	18.044,00 ± 364,87	8,81 ± 0,06	16.401,64

Fonte: autor, 2013.

A partir dos dados do teor de voláteis e de cinzas, o teor de carbono fixo pode ser calculado utilizando, como foi mencionado, a expressão $T_{\text{carbono fixo}} = 100 - (T_{\text{voláteis}} + T_{\text{cinzas}})$. Esses dados são visualizados na Tabela 9.

Não se percebe grandes diferenças entre o teor de cinzas das amostras não compactada e compactada das folhas e do caule, separadamente, no entanto, pode-se observar que as folhas de Sabiá em pastilhas apresentam as maiores porcentagens de cinzas. O material compactado, mostra-se, dessa forma, como sendo de maior dificuldade de queima, gerando maiores quantidades desse resíduo, necessitando de retirada manual para evitar a dificuldade de transferência de calor dentro dos fornos cerâmicos, por exemplo.

Tabela 9 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo das folhas e caule do Sabiá para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas			Caule		
	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Não compactada	65,72 ± 4,56	2,62 ± 0,042	31,66	79,09 ± 1,82	1,66 ± 0,022	19,25
Compactada	60,62 ± 1,82	2,99 ± 0,030	36,39	70,89 ± 0,33	2,06 ± 0,051	27,05

Fonte: autor, 2013.

O percentual de carbono fixo refere-se à fração de carvão que se queima no estado sólido. Combustíveis com teores mais elevados de carbono fixo são preferíveis porque queimam mais lentamente. Dessa forma, as folhas do material compactado atendem de maneira mais satisfatória esse parâmetro.

6.2 Caracterizações Físico-Químicas da Espécie Capim-Elefante

As análises descritas na metodologia foram realizadas para o Capim-elefante. Para esta biomassa investigou-se as folhas e colmos das duas variedades da planta: a verde (Cameroon) e a roxa (Roxo). Necessitou-se secar previamente o material antes da realização dos experimentos, devido à alta umidade apresentada: 74,28 % e 83,36 % para as folhas e colmos do Capim-elefante verde, respectivamente; 75,13 % e 83,91 % para as folhas e colmos da variedade roxa, nessa ordem. Dessa forma, reduziu-se a quantidade de água presente para valores que se encontrassem na faixa de 8 - 12 %, favorecendo o potencial energético da biomassa através da redução da umidade.

Dados da granulometria podem ser visualizados nas Tabelas 10 e 11. Mais de 50 % do material triturado na forrageira possui dimensão maior que 0,850 mm. Além disso, material com dimensões de 0,053 mm ou menos, não foi recolhido, tanto para o Capim-elefante verde como para o de variedade roxa.

Tabela 10 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e colmos do Capim-elefante verde

Posição das amostras presentes/passantes em cada peneira	Dimensão da amostra (mm)	Massa das folhas (%)	Massa dos colmos (%)
Presente na malha #20	> 0,850	51,08	69,18
Passante pela malha #20	0,850	30,98	21,08
Passante pela malha #35	0,425	12,80	6,16
Passante pela malha #65	0,212	3,50	1,99
Passante pela malha #150	0,106	1,64	1,59
Passante pela malha #270	≤ 0,053	-	-

Fonte: autor, 2013.

Tabela 11 – Resultados da análise granulométrica para as folhas e colmos do Capim-elefante roxo

Posição das amostras presentes/passantes em cada peneira	Dimensão da amostra (mm)	Massa das folhas (%)	Massa dos colmos (%)
Presente na malha #20	> 0,850	63,52	78,90
Passante pela malha #20	0,850	23,28	15,03
Passante pela malha #35	0,425	9,95	3,52
Passante pela malha #65	0,212	2,10	1,55
Passante pela malha #150	0,106	1,15	1,00
Passante pela malha #270	≤ 0,053	-	-

Fonte: autor, 2013.

Vemos que amostras passantes pelas malhas #20, #35, #65, #150 e #270 foram obtidas predominantemente em menor proporção para a separação dos colmos.

Os dados de densidade (Tabela 12 e 13) para as amostras não compactadas mostraram-se semelhantes em todas as determinações, verificando que do ponto de vista de facilidade de transporte e estocagem todas as partes do Capim-elefante apresentam características equivalentes.

Um aumento da densidade do material foi verificado para todas as amostras compactadas, indicando a otimização da redução do volume das biomassas e

grande resistência à umidade por parte das pastilhas que simulam os briquetes, pois as determinações foram realizadas em água.

Tabela 12 – Resultados de densidade das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas verde	Folhas roxa
	Densidade (g/cm ³)	Densidade (g/cm ³)
Não compactada	0,57 ± 0,02	0,51 ± 0,05
Compactada	0,62 ± 0,01	0,59 ± 0,02

Fonte: autor, 2013.

Tabela 13 – Resultados de densidade dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Colmo verde	Colmo roxo
	Densidade (g/cm ³)	Densidade (g/cm ³)
Não compactada	0,52 ± 0,00	0,52 ± 0,02
Compactada	0,63 ± 0,01	0,71 ± 0,03

Fonte: autor, 2013.

A partir da Tabela 14 percebe-se que os valores de PCS e PCI para as folhas do Capim-elefante roxo mostram-se mais satisfatório em comparação as folhas do Capim-elefante verde.

Como sabemos, o rendimento energético de um processo de combustão de um material depende de sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, fibras, extrativos e substâncias minerais variam de acordo com a espécie e é de grande importância para a escolha da biomassa energética (QUIRINO et al., 2005). Logo, a principal explicação para a variabilidade de valores encontrados refere-se à diferença na constituição dos genótipos estudados.

Tabela 44 – Resultados de PCS, umidade e PCI das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas verde	Folhas roxa
------------------------------------	--------------	-------------

	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)
Não compactada	16.734,50 ± 23,33	8,00 ± 0,02	15.111,90	17.661,00 ± 302,64	8,02 ± 0,10	16.037,91
Compactada	16.408,00 ± 84,85	8,00 ± 0,02	14.785,40	16.534,50 ± 136,47	8,02 ± 0,10	14.911,41

Fonte: autor, 2013.

Contrariamente ao que afirma a literatura, os dados da Tabela 14 mostram que os briquetes apresentaram poderes caloríficos menores que as amostras não compactadas. Nesse caso, a compactação das espécies vegetais não traria vantagens do ponto de vista da obtenção de energia com a queima, porém é vital por questões de facilidade de transporte, armazenamento etc.

Já para o colmo da variedade roxa percebe-se uma diminuição do PCS e PCI comparativamente ao verde. Aliás, o colmo compactado do Capim-elefante verde apresenta o maior valor de poder calorífico dentre as amostras estudadas (Tabela 15). A explicação mais plausível sobre esse fato seria a provável diferença na composição química das espécies.

Tabela 55 – Resultados de PCS, umidade e PCI dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Colmo verde			Colmo roxo		
	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)	PCS (kJ/kg)	Umidade (%)	PCI (kJ/kg)
Não compactada	15.450,00 ± 14,14	8,60 ± 0,02	13.812,76	17.312,50 ± 33,23	9,07 ± 0,01	15.663,79
Compactada	18.389,00 ± 681,65	8,60 ± 0,02	16.751,76	15.077,50 ± 48,79	9,07 ± 0,01	13.428,79

Fonte: autor, 2013.

Os dados de PCS tanto das amostras de Sabiá, como de Capim-elefante, mostram-se superiores aos de espécies como eucalipto (14.243,49 kJ/kg) e bambu (14.099,30 kJ/kg) (SOUZA, 2011).

Dados da Tabela 16 mostram valores semelhantes de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo para as amostras de folhas verdes e roxa do Capim-elefante.

Trabalhos realizados por Quesada (2005) para os teores de cinzas observaram nas folhas do Capim-elefante teores variando de 4,1 a 11,6 %. Morais (2008) encontrou teores de cinzas nas folhas variando entre 1,39 e 3,32 %. Comparativamente aos valores encontrados por Morais (2008) os dados experimentais da Tabela 16 mostram-se altos, no entanto encontram-se próximos daqueles descritos por Quesada (2005).

Os teores de carbono fixo encontrados mostram valores variando de 18,73 % a 20,24 %, não demonstrando grandes variações entre os resultados encontrados para as folhas do Capim-elefante.

Tabela 16 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo das folhas verde e roxa do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Folhas verde			Folhas roxa		
	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Não compactada	75,28 ± 3,03	5,99 ± 1,02	18,73	76,72 ± 1,22	4,11 ± 0,076	19,17
Compactada	74,21 ± 0,17	5,55 ± 0,10	20,24	77,32 ± 0,31	3,66 ± 0,095	19,02

Fonte: autor, 2013.

Morais (2008) e Quesada (2005) avaliando os teores de cinzas no colmo em Capim-elefante encontraram valores chegando até 3,58 % e 1,9 %, respectivamente. Os dados de colmo verde e roxo obtidos experimentalmente no GCaR são visualizados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo dos colmos verde e roxo do Capim-elefante para as amostras nas formas não compactada e compactada

Característica física das amostras	Colmo verde			Colmo roxo		
	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Teor de carbono fixo (%)
Não compactada	72,80 ± 1,89	7,94 ± 0,25	19,26	77,14 ± 1,98	9,76 ± 0,88	13,10
Compactada	76,16 ± 1,60	13,76 ± 1,15	10,08	66,45 ± 0,49	10,16 ± 0,47	23,39

Fonte: autor, 2013.

Para o teor de carbono fixo, o dado do colmo roxo compactado apresenta-se como sendo superior ao não compactado. Com isso, conclui-se essa amostra de biomassa, na forma de briquetes, queima mais lentamente, o que é preferível.

Seye (2003) fez uma comparação entre o teor de cinzas gerado pelo bagaço e pela palha de cana-de-açúcar e pelo Capim-elefante. Encontrou 4,1 % para o bagaço de cana, 7,1 % para a palha de cana e de 11,5 % para o capim, atribuindo o elevado teor de cinzas devido às altas aplicações de adubo nitrogenado - variando de 50 a 400 kg ha⁻¹ de N por ano - praticadas na produção de material seco do capim. Observou-se que materiais com maiores quantidades de cinzas na sua composição química têm o máximo desprendimento de voláteis a temperaturas mais elevadas. A explicação para isso se deve ao fato de que quando há um teor maior de material inorgânico, existe maior probabilidade de ele estar diluído com a matéria orgânica, provocando, conseqüentemente, um retardamento da transferência de calor no interior das partículas e uma difusão dos voláteis para fora das mesmas.

6.3 Estudo Econômico da Criação de Florestas Energéticas de Sabiá e Capim-Elefante no Assentamento São Luiz - Atalaia

Esse estudo econômico visa propor o cultivo de Sabiá e Capim-elefante no assentamento rural São Luiz, localizado no município de Atalaia, Estado de Alagoas, para utilização dessas biomassas em cerâmicas vermelhas.

6.3.1 Floresta Energética de Sabiá

O assentamento São Luiz possui uma área total equivalente a 1.192,50 ha e para a avaliação dos custos da criação de uma floresta energética considerou-se uma área correspondente a 25 % da área total do assentamento, ou seja, aproximadamente 298,12 ha. A colheita do plantio será realizada de forma sustentável, com cada corte referente às dimensões de apenas $\frac{1}{4}$ da área utilizada para cultivo.

Os dados apresentados a seguir e que se relacionam com o cultivo do Sabiá, como por exemplo, o número de árvores por hectare, custos com preparo da terra, insumos etc., foram fornecidos por produtores locais de Sabiá. Logo, para o estudo faz-se necessário a definição de alguns pontos:

- área total (ha) com árvores = percentagem da área destinada para plantio x área total (ha) do projeto de assentamento = $0,25 \times 1.192,50 \text{ ha} = 298,12 \text{ ha}$

Para um espaçamento de 2,0 x 2,0 m, o número de árvores por hectare se encontra em torno de 2.500 unidades. Utilizou-se essa quantidade para a equação a seguir.

- quantidade total (unidades) de árvores = área total (ha) com árvores x número médio de árvores em cada hectare = $298,12 \text{ ha} \times 2.500 \text{ unidades/ha} = 745.300 \text{ unidades}$

Em estudos realizados por Suassuna (2012), observou-se um volume médio de cada sabiazeiro aos 6 anos de idade, igual a $0,0186 \text{ m}^3$. O volume, em m^3 , existente em cada hectare pode ser encontrado da seguinte forma:

- volume (m^3) de árvores por hectare = volume (m^3) de cada árvore x número de árvores por hectare = $0,0186 \text{ m}^3/\text{árvore} \times 2.500 \text{ árvores/ha} = 46,50 \text{ m}^3/\text{ha}$

Logo,

- volume (m³) de lenha da área total plantada = área total (ha) com árvores x volume (m³) de árvores por hectare = 298,12 ha x 46,5 m³/ha = 13.862,58 m³

Como já foi dito, cada corte da madeira de Sabiá deverá ser feito utilizando ¼ das terras cultivadas, conforme o esquema apresentado na Figura 12, perfazendo um ciclo de 9 anos até a colheita novamente de lenha das primeiras árvores cortadas. Isso é necessário, pois o Sabiá leva cerca de 6 anos para adquirir tamanho ideal para o 1º corte, mais 4 para o 2º corte, e a cada 4 anos realiza-se os próximos cortes, por tempo indeterminado, não existindo um número definitivo de ciclos possíveis.

Figura 12 – Esquema de corte para o 1º ciclo do Sabiá.

1º corte – 6º ano (1/4 da área cultivada)	2º corte – 7º ano (1/4 da área cultivada)
3º corte – 8º ano (1/4 da área cultivada)	4º corte – 9º ano (1/4 da área cultivada)

Fonte: autor, 2013.

O volume de lenha em cada corte pode ser encontrado por meio da seguinte forma:

- volume (m³) de madeira obtida em cada corte = volume (m³) de lenha da área total plantada / número de cortes em cada ciclo = 13.862,58 m³ / 4 = 3.465,64 m³

Vale lembrar que esse valor é o volume mínimo que pode ser obtido com a plantação de Sabiá, já que a cada ano haverá o crescimento natural de cada sabiazeiro e, dessa forma, as árvores que farão parte do 2º, 3º e 4º cortes apresentarão maior volume. Segundo Suassuna (2012) há um incremento médio anual de 0,0031 m³ em cada planta.

Os dados apresentados anteriormente podem ser melhor visualizados através da Tabela 18.

Tabela 18 – Dados relacionados ao cultivo de Sabiá no assentamento São Luiz, localizado em Atalaia, AL

Área total (ha) do assentamento	1.192,50
Área total (ha) com árvores	298,12
Quantidade de árvores (unidades) por hectare	2.500
Quantidade total (unidades) de árvores	745.300
Volume (m ³) de árvores por hectare	46,50
Volume (m ³) de lenha da área total plantada	13.862,58
Volume (m ³) de madeira obtida no 1º corte	3.465,64

Fonte: autor, 2013.

Plantações de sabiazeiros para fins energéticos necessitam de cuidados comuns a qualquer tipo de cultura, como escolha de sementes de qualidade e uso de formicidas. Após o 2º ano de plantio, há um pequeno gasto com limpeza da terra, o qual muitas vezes é desnecessário, pois a espécie realiza esse processo naturalmente. Através da Tabela 19 verificam-se os custos de implantação e manutenção de uma floresta de Sabiá no assentamento São Luiz, em Atalaia – AL. Verifica-se um gasto por hectare equivalente a R\$ 3.516,00 e esse total pode ser diminuído se considerarmos, por exemplo, que o valor com o corte das árvores, a mão de obra com capina manual etc., pode ser realizada por equipamentos e pessoas do próprio assentamento, reduzindo consideravelmente os custos.

Tabela 19 – Custos com a implantação de uma floresta energética de Sabiá no assentamento São Luiz

	Descrição	Unidade	Qde	Custo/Hectare (R\$)	
1º ano		Limpeza da área	Homem dia	1	20,00
	Mão de obra	Controle de formiga	Homem dia	1	20,00
		Plantio de mudas	Homem dia	1	20,00
		Mudas	Unidade	2500	750,00*
	Produtos	Formicida	Kg	0,5	400,00**
		Adubo	Kg	125	100,00
		Herbicida	L	6	300,00***
EPI's		Unidade	1	60,00	

		Pulverizador costal	Unidade	1	200,00
		Enxadao	Unidade	1	16,00
Subtotal 1º ano					1.886,00
2º ano	Mão de obra	Limpeza da área	Homem dia	1	20,00
	Produto	Herbicida	L	6	300,00***
Subtotal 2º ano					320,00
Subtotal 3º, 4º e 5º anos					-
6º ano	Mão de obra	Corte das árvores	Homem dia	1	140,00
	Produto	Motosserra	Unidade	1	630,00
	Taxa anual	Licença motosserra	Unidade	1	30,00
Subtotal 6º ano					800,00
7º ano	Mão de obra	Corte das árvores	Homem dia	1	140,00
	Taxa anual	Licença motosserra	Unidade	1	30,00
8º ano	Mão de obra	Corte das árvores	Homem dia	1	140,00
	Taxa anual	Licença motosserra	Unidade	1	30,00
9º ano	Mão de obra	Corte das árvores	Homem dia	1	140,00
	Taxa anual	Licença motosserra	Unidade	1	30,00
Subtotal 7º, 8º e 9º anos					510,00
Total					3.516,00

*Valor variável dependente do fornecedor/qualidade da muda/semente. **Valor dependente da quantidade de formigas no terreno. ***Valor dependente da quantidade de vegetação na área.

Fonte: autor, 2013.

Um outro custo que está relacionado na Tabela 19, refere-se à taxa anual de licença de utilização de motosserra no IBAMA, que é de R\$ 30,00.

As expressões abaixo retratam os custos de toda a área relacionados a implantação do cultivo de Sabiá e elas podem ser resumidas na Tabela 20.

- custo (R\$) de implantação e manutenção por ha = R\$ 3.516,00/ha

- custo (R\$) de implantação e manutenção da área total = área plantada (ha) x custo (R\$) de implantação e manutenção por ha = 298,12 ha x R\$ 3.516,00/ha = R\$ 1.048.189,90

Tabela 20 – Custos de implantação e manutenção da área total de Sabiá

Custo (R\$) de implantação e manutenção por ha	3.516,00
Custo (R\$) de implantação e manutenção da área total	1.048.189,90

Fonte: autor, 2013.

Segundo os ceramistas do Estado de Alagoas, o custo do m³ da lenha (algaroba, jaqueira, cajueiro, mangueira, sabiá, etc.) gira em torno de R\$ 35,00, incluindo o frete. Através de negociação entre as indústrias cerâmicas e os assentados, o preço do m³ poderia ser reduzido. No entanto, estipulando o mesmo valor de R\$ 35,00/m³ para a venda do Sabiá, os assentados poderiam gerar um valor bruto para cada ciclo de cultivo, equivalente a R\$ 485.190,30, como vemos pela expressão a seguir.

- valor (R\$) gerado com a venda da madeira de Sabiá = volume (m³) de lenha da área total plantada x custo (R\$) do m³ da lenha = 13.862,58 m³ x R\$ 35,00/m³ = R\$ 485.190,30

Observa-se, através dos cálculos que o valor de R\$ 35,00/m³ não seria suficiente para que os assentados obtivessem lucro com a venda da lenha de Sabiá ainda no 1º ciclo de produção. Para que esse cultivo possa gerar renda, será necessária a venda do m³ de madeira por pelo menos R\$ 75,62. Atualmente esse valor é impensável para compra de lenha pelas indústrias de cerâmica vermelha. Mostra-se, então, que o cultivo dessa espécie só poderia garantir lucro após o 2º ciclo de corte.

A cerâmica Bandeira utiliza em seus fornos combustíveis compostos por uma mistura de espécies, como eucalipto, cajueiro, mangueira, casca de coco, algaroba e pó de serra. O poder calorífico dessas biomassas é quantificado na Tabela 21 e para o cálculo da necessidade energética da cerâmica estudada utilizou-se a média dos valores observados.

**Tabela 21 – Características físico-químicas das biomassas utilizadas pela cerâmica
Bandeira**

Biomassa	Umidade (%)	PCS (kJ/kg)	Densidade (kg/m³)
Eucalipto	22,10	16.581,89	885,00
Cajueiro	21,92	15.607,05	560,00
Mangueira	43,41	13.785,29	800,00
Casca de coco	26,04	16.723,42	380,00
Algaroba	29,93	13.253,02	520,00
Pó de serra	18,60	16.740,50	863,50
Média	27,00	15.448,53	668,08

Fonte: adaptada de Souza, 2011.

Para a determinação da necessidade energética atual da cerâmica Bandeira necessita-se quantificar alguns valores. Através da Equação 3 o PCI médio da mistura de lenha utilizada corresponde a 13.362,33 kJ/kg; a massa de lenha consumida, considerando que a indústria utiliza um volume mensal de 2.800 m³ e que a densidade média das espécies utilizadas é de 668,08 kg/m³, corresponde a 1.870.624,00 kg. Dessa forma, a demanda mínima de energia mensal da cerâmica Bandeira é de 24.995.895.193,92 kJ (2,50 x 10¹⁰ kJ).

Tomando como referência o PCI do Sabiá como sendo 15.847,64 kJ/kg (valor obtido para o caule não compactado da espécie arbórea), a densidade 760 kg/m³ e o volume de madeira no 1º corte sendo igual a 3.465,64 m³, a energia gerada no 1º corte pode ser calculada pela expressão a seguir:

- energia gerada (kJ) com o 1º corte = PCI (kJ/kg) x massa do Sabiá (kg) = PCI x (volume do Sabiá x densidade) = 15.847,64 kJ/kg x (3.465,64 m³ x 760 kg/m³) = 41.740.883.468,096 kJ

A partir dos dados calculados pode-se ver que o primeiro corte da madeira do sabiazal cultivados em 74,53 ha (1/4 da área destinada para o plantio) iria suprir as necessidades energéticas da cerâmica Bandeira por apenas 1,6 meses – aproximadamente 48 dias por ano.

Mesmo a venda da lenha de Sabiá para a utilização como fonte de energia gerando lucro ao final do 2º ciclo de corte, após 18 anos de plantio, sua plantação pode ser associada a outras atividades como, por exemplo, fonte de estacas –

destinadas a cercas, mourões, construção civil etc. –, tutores para plantio de inhame, venda de mudas ou até mesmo na apicultura.

No 1º ano de plantio ocorre a floração da espécie e nesse período podem-se inserir colmeias de abelhas e investir na apicultura. Cada hectare comporta até 3 caixas de colmeias e o custo de implantação é de cerca de R\$ 200,00. A partir do 2º ano de cultura haveria lucro com a produção de mel, pois cada caixa geraria aproximadamente 20 kg de mel/ano. Como o quilo do mel pode ser vendido a R\$ 4,00, ter-se-ia o montante de R\$ 80,00 por caixa e R\$ 240,00 por hectare/ano. Vale salientar que a atividade de criação de abelhas pode perdurar até 8 anos sem necessidade de reposição das colmeias.

Para a venda de tutores (galhos) destinados ao cultivo de inhame, no fim do 1º ano o assentamento teria geração de lucro, pois considerando que cada árvore fornece até 20 tutores e o preço de 1.000 unidades é de R\$ 100,00; cada hectare com 2.500 árvores forneceria 50.000 tutores que seriam vendidos ao preço de R\$ 5.000.

Por fim, um dos principais destinos da madeira do Sabiá atualmente, é a venda de estacas, as quais podem ser cortadas a partir do 5º ano de plantio. Cada árvore fornece em média 4 estacas de 2,20 m de comprimento, cada uma, e a unidade pode ser vendida por R\$ 6,00. Essa atividade seria a principal fonte de renda para o assentamento, caso não fosse dado destino de queima para a lenha do Sabiá.

Com a venda das estacas os produtores ganhariam até R\$ 60.000 por hectare ao ano. No entanto, desse total é necessário descontar os gastos com o corte. Em Alagoas, cobra-se em média R\$ 0,50 por corte de cada estaca destinada para cercas, acarretando R\$ 5.000/ha de despesas. Dessa forma, o lucro final seria de R\$ 55.000/ha.

Percebe-se que o cultivo de Sabiá, apesar de fornecer baixo volume de matéria-prima e alto custo por hectare, apresenta características essenciais para sua utilização como fonte de energia nos fornos cerâmicos e isso justifica a maior pesquisa nessa espécie de forma a diminuir os gastos decorrentes de sua implantação como floresta energética. Logo, uma alternativa num primeiro momento seria a venda para as indústrias cerâmicas apenas dos galhos oriundos do corte das estacas.

6.3.2 Floresta Energética de Capim-elefante

Como citado anteriormente, o Capim-elefante Cameroon é uma das principais variedades dessa espécie para produção de energia. Por esse motivo a análise de viabilidade econômica apresentada refere-se somente a essa variedade.

Para o estudo da criação de uma floresta energética de Capim-elefante no assentamento São Luiz, utilizou-se como referência a mesma área destinada para o cultivo da espécie Sabiá, ou seja, 25 % da área total, equivalente a 298,12 ha.

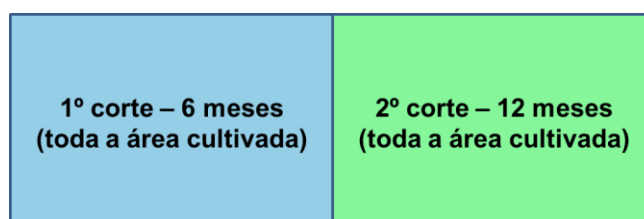
Logo,

- área total (ha) com árvores = porcentagem da área destinada para plantio x área total (ha) do projeto de assentamento = $0,25 \times 1.192,50 \text{ ha} = 298,12 \text{ ha}$

O Capim-elefante apresenta crescimento rápido e quando seu plantio destina-se à geração de energia pode sofrer dois cortes ao ano, gerando cerca de 40 toneladas de matéria seca por hectare a cada 6 meses (REVISTA ÉPOCA, 2010).

O corte da pastagem poderá ser realizado conforme o esquema mostrado na Figura 13, obtendo-se, conseqüentemente, 80 toneladas anuais de biomassa seca por hectare. Conforme a Revista Brasileira de Bioenergia (2011) o cultivo do Capim-elefante dura em média 20 anos sem a necessidade de ser renovado e por isso contribui para a preservação do solo.

Figura 13 – Esquema de corte para o 1º ciclo do Capim-elefante.



Fonte: autor, 2013.

Trabalhos relacionados ao custo do estabelecimento do Capim-elefante ainda são incipientes e segundo professores e pesquisadores do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), isso se deve ao fato da capineira ser destinada basicamente à alimentação do gado e dessa forma, os custos associados à plantação normalmente não são mensurados. Mesmo assim, os

mesmos professores informam que se gasta de R\$ 2.000 a R\$ 2.500 por hectare, implicando em um valor médio R\$ 2.250/ha para implantação da espécie.

Azevedo (2000) relata os aspectos econômicos associados à produção agrícola do Capim-elefante. O cultivo pode ser dividido em duas etapas: formação e manutenção da área da cultura. A formação da capineira inclui o preparo do solo (aração, gradeação e calagem) e essas operações foram desenvolvidas em seu trabalho por tratores e implementos, cujo custo hora/ha variou de R\$ 11,00 a R\$ 13,00. Na fase de plantio o custo da mão-de-obra foi de R\$ 0,89/h/ha e contemplou as seguintes atividades: sulcação, distribuição de mudas, cobertura mecânica de mudas, distribuição de superfosfato, picação das mudas e repasse da cobertura das mudas.

Os insumos utilizados na formação da capineira de Capim-elefante, preços e quantidades são vistos na Tabela 22.

Tabela 22 – Insumos utilizados na formação do Capim-elefante (R\$/ha)

Insumo	Unidade	Quantidade	Preço	Total
Superfosfato simples	T	(*)	133,19	-
Adubo (20--5-20)	T	(*)	211,72	-
Calcário dolomítico	T	2,5	15,53	38,83
Cloreto de potássio	T	0,2	209,56	41,91
Análise de solo	Ud	1,0	5,00	5,00
Frete corretivo e fertilizante	Km	100,0	0,28	28,00
Mudas	T	6,0	3,00	18,00
Frete mudas	Km	100,0	0,29	28,86
Formicida	Kg	1,0	2,74	2,74

(*) – valores variáveis conforme o experimento

Fonte: Azevedo, 2000.

A etapa de manutenção envolve os seguintes tratos culturais: adubação, calagem do solo e insumos, os quais são listados através dos dados presentes na Tabela 23.

Tabela 23 – Insumos utilizados na manutenção do Capim-elefante (R\$/ha)

Insumo	Unidade	Quantidade	Preço	Total
Superfosfato simples	T	(*)	133,19	-
Adubo (20--5-20)	T	(*)	211,72	-
Calcário dolomítico (**)	T	2,5	15,53	38,83

(*) – valores variáveis conforme o experimento. (**) – distribuídos a cada dois anos.

Fonte: Azevedo, 2000.

Os dados apresentados nas Tabelas 22 e 23 foram obtidos em um dos poucos trabalhos relacionados ao aspecto econômico do cultivo do Capim-elefante. Esses valores não foram utilizados no presente estudo, mas servem de base para entendimento das etapas envolvidas e dos produtos normalmente utilizados na produção.

Na Tabela 24, encontram-se dados referentes ao 1º ciclo (2 cortes/ano) de implantação do Capim-elefante no assentamento São Luiz. A massa em toneladas de capim da área total plantada no 1º corte e a massa gerada no 1º ano (1º e 2º cortes) são calculadas a partir das expressões a seguir e podem visualizadas na mesma tabela:

- massa (t) de capim da área total plantada no 1º corte = área total (ha) com capim x massa (t) de capim por hectare = 298,12 ha x 40,00 t/ha = 11.924,80 t

- massa (t) de capim gerada no 1º ano = massa (t) de capim da área total plantada no 1º corte x 2 = 11.924,80 t x 2 = 23.849,60 t

Tabela 24 – Dados relacionados ao cultivo do Capim-elefante no assentamento São Luiz, localizado em Atalaia, AL

Área total (ha) do assentamento	1.192,50
Área total (ha) com capim	298,12
Massa (t) de capim por hectare	40,00
Massa (t) de capim da área total plantada no 1º corte	11.924,80
Massa (t) de capim gerada no 1º ano	23.849,60

Fonte: autor, 2013.

Como foi descrito, o custo médio por hectare para implantação de uma floresta energética de Capim-elefante é de R\$ 2.250,00. Dessa forma, o custo de implantação da área total seria de:

- custo (R\$) de implantação anual da área total = área plantada (ha) x custo (R\$) de implantação por ha = 298,12 ha x R\$ 2.250,00/ha = R\$ 670.770,00

Esses dados são resumidos na Tabela 25.

Tabela 25 – Custos de implantação e manutenção da área total de Capim-elefante

Custo (R\$) de implantação e manutenção por ha	2.250,00
Custo (R\$) de implantação e manutenção da área total	670.770,00

Fonte: autor, 2013.

A densidade média do Capim-elefante Cameroon é de 520,00 kg/m³, com isso, o volume (m³) da gramínea no 1º ano é de 45.864,62 m³. Atualmente, os ceramistas pagam R\$ 35,00 em cada m³ de lenha utilizada em seus fornos. Utilizando o mesmo custo para a gramínea e desejando-se definir se o assentamento São Luiz obteria lucro no 1º ano utiliza-se a seguinte expressão:

- valor bruto gerado com a venda do Capim-elefante no 1º ano = volume (m³) de capim na área total plantada x custo (R\$) do m³ do capim = 45.864,62 m³ x R\$ 35,00/m³ = R\$ 1.605.261,70

Pelos cálculos apresentados, os moradores do assentamento São Luiz, localizado no município de Atalaia, teria lucro de R\$ 934.491,70 no 1º ano de plantio. É necessário salientar que desse lucro deve ser retirado o custo com corte da espécie, frete e manutenção do cultivo com insumos. Mesmo assim, essa espécie ainda se torna ótima alternativa para a geração de energia.

An; Searcy (2012) dizem que biomassa celulósica vegetal apresenta características de baixa densidade, alta umidade e muitas vezes geograficamente dispersa, resultando em custos altos de logística relacionados ao transporte a partir de fazendas para plantas de conversão. Portanto, reduzir o custo de logística de

biomassa celulósica é um fator chave para o uso como matéria-prima para combustíveis.

A Cerâmica Bandeira apresenta uma necessidade energética de 24.995.895.193,92 kJ/mês. A partir desse valor, calcula-se a energia gerada no 1º corte, no 1º ano e o tempo em meses que essa cultura supriria as necessidades da cerâmica Bandeira. O PCI utilizado para o cálculo foi relacionado com média dos colmos e folhas do Capim-elefante verde (Cameroon) e correspondeu a 14.462,33 kJ/kg.

- energia gerada (kJ) com o 1º corte = PCI (kJ/kg) x massa do Sabiá (kg) =
14.462,33 kJ/kg x 11.924.800 kg = 172.460.392.784,00 kJ

- energia gerada (kJ) no 1º ano de corte = energia gerada (kJ) com o 1º corte x 2 =
172.460.392.784,00 kJ x 2 = 344.920.785.568,00 kJ

- tempo (meses) de utilização do capim pela cerâmica = energia gerada (kJ) no 1º ano de corte / necessidade energética (kJ/mês) da cerâmica = 344.920.785.568,00 kJ / 24.995.895.193,92 kJ/mês = 13,8 meses

Isso demonstra que em comparação ao Sabiá, o Capim-elefante é uma espécie altamente energética e bem mais vantajosa do ponto de vista de investimento por parte de um assentamento para fornecimento de biomassa para setores produtivos de queima. Além do mais, uma área menor que os 298,12 ha iniciais destinados ao seu plantio seriam suficiente para suprir a demanda energética da indústria de cerâmica vermelha.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

As espécies Sabiá e Capim-elefante podem ser utilizadas como alternativa energética em substituição a lenha utilizada atualmente nos setores de queima do estado. São espécies que apresentam diversas vantagens econômicas, como rápido crescimento e diversas aplicações, além de fornecer propriedades físico-químicas comparáveis às biomassas energéticas mais utilizadas atualmente.

O ensaio granulométrico realizado para as duas espécies evidencia a necessidade de escolha de melhor forma de trituração para as biomassas, pois como foi mostrado no presente trabalho, a maior das amostras forneceram dimensões maiores que 0,850 mm.

Dentre todas as amostras de Sabiá estudadas as folhas não compactadas, seguida pelo caule do material compactado apresentaram maior poder calorífico e juntamente com suas características de elevado teor de carbono fixo e densidade considerável podem vir a ser uma alternativa energética importante no estado.

Para as duas variedades de Capim-elefante (verde – Cameroon – e roxa - Roxo) os melhores dados de PCS e PCI foram obtidos para o colmo verde do Capim-elefante compactado e para as folhas roxas do material não compactado. As duas amostras apresentaram alto teor de voláteis e carbono fixo. O teor de cinzas do colmo verde não compactado esteve abaixo da média dos resultados das análises das outras amostras de colmo. O mesmo ocorreu para os dados das folhas roxa compactada.

Devido aos altos teores de umidade em seus estados naturais se faz necessário uma secagem do Capim-elefante e das folhas de Sabiá para a utilização como fonte de energia.

O estudo econômico simulando a implantação de florestas energéticas no assentamento São Luiz, município de Atalaia, AL, demonstrou a melhor relação viabilidade econômica/disponibilidade de matéria-prima, relacionada com o cultivo de Capim-elefante. Essa espécie apresenta crescimento rápido, volume grande de biomassa seca por hectare e alto poder calorífico, características fundamentais quando se pretende suprir a necessidade energética de uma indústria de cerâmica vermelha.

O Sabiá, espécie de elevado poder calorífico, se mostra viável também economicamente cultivando-se a espécie para destino de produção de estacas,

varas, para a criação de abelhas, fornecimento de tutores para as plantações de inhame etc., pois os custos relacionados à plantação de uma floresta energética são excessivos. No entanto, ao se pensar que os sabiazeiros se adaptam a locais com clima semi-árido, essas plantas podem ser consideradas como opção de desenvolvimento dessas regiões. Apesar de o assentamento São Luiz obter lucro com a venda do Sabiá após o fim do 2º ciclo de corte, a utilização da madeira dessa espécie vegetal acarretaria em diversos ganhos ambientais, substituindo, por exemplo, o que parte das cerâmicas do Estado de Alagoas utiliza atualmente como combustível: madeira de origem desconhecida, árvores frutíferas etc.

8 PERSPECTIVAS

O trabalho desenvolvido encontra-se entre os primeiros estudos do Grupo de Pesquisa em Biomassa para Energia (GPBIOEN). Com isso, espera-se a continuidade da pesquisa investigando-se novas formas de utilização dessas biomassas, bem como de outras que apresentam grande potencialidade energética (os quais já ocorrem pelos pesquisadores do grupo); aplicações em outros setores da indústria que utilizam processo de queima; desenvolvimento de estudos econômicos etc.

Para a espécie Sabiá espera-se uma maior investigação com objetivo de redução dos custos relacionados a implantação de florestas energéticas e para o Capim-elefante necessita-se de maiores estudos relacionados as fases de processamento dessa biomassa, como por exemplo a secagem.

Pesquisas desse tipo são imprescindíveis para o desenvolvimento sustentável do setor industrial alagoano.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Agrário – SEAGRI-AL. **Projeto de eucalipto completa um ano com resultados positivos.**

Disponível em: <<http://www.agricultura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2010/projeto-de-eucalipto-completa-um-ano-com-resultados-positivos/?searchterm=eucalipto>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

_____. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico – SEPLANDE-AL. **Alagoas geográfico.** Disponível em:

<<http://geo.seplande.al.gov.br/geoweb/src/php/app.php>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

_____. Secretaria de Estado do Planejamento e do Desenvolvimento Econômico – SEPLANDE-AL. **Tipos climáticos de Alagoas.** Disponível em: <

http://informacao.seplande.al.gov.br/sites/default/files/styles/nenhum/public/tipos_climaticos.png>. Acesso em: 02 mar. 2013.

ALENCAR, F. H. H. de. **Potencial forrageiro da espécie sabiá (Mimosa Caesalpinifolia Benth.) e sua resistência a cupins subterrâneos.** 2006. 63 f.

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal de Campina Grande, Patos, PB, 2006.

AN, H.; SEARCY, S. W. Economic and energy evaluation of a logistics system based on biomass modules. **Biomass and Bioenergy**, v. 46, p. 190-202, 2012.

ANGEL, J. D. M. et al. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1110-1114, 2009.

AZEVEDO, P. B. M. **Aspectos econômicos da produção agrícola do capim-elefante.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas.

Anais eletrônicos... Disponível em:

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000100032&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 02 jan. 2013.

BARBOSA, T. R. L.; SILVA, M. P. S.; BARROSO, D. G. **Plantio do sabiazeiro em pequenas e médias propriedades.** Niterói: Programa Rio Rural, 2008, 14 p. (Programa Rio Rural. Manual Técnico, 2).

BAZZO, E. **Geração de Vapor.** 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1995, 216 p.

BOMAN, U. R.; TURNBULL, J. H. Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide. **Biomass and Bioenergy**, v. 13, n. 6, p. 333-343, 1997.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

_____. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. O que fazer com a semente de algodão? **Revista Cultivar**, p.38-39, 2000.

_____. Ministério Público Federal - MPF. **Projetos de reforma agrária conforme fases de implementação**. Disponível em: <http://pfdc.pgr.mpf.gov.br/atuacao-e-conteudos-de-apoio/publicacoes/reforma-agraria/questao-fundiaria/assentamentos_2001_a_2010.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2013.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2011: ano base 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

BRIDGWATER, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. **Biomass and Bioenergy**, v. 38, p. 68-94, 2012.

CARPENTIERI, A. E.; LARSON, E. D.; WOODS, J. Future biomass-based electricity supply in northeast Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 4, n. 3, p. 149-173, 1993.

CARVALHO, H. M. **A interação social e as possibilidades de coesão e de identidade sociais no cotidiano da vida social dos trabalhadores rurais nas áreas oficiais de reforma agrária no Brasil**. Curitiba: Ministério Extraordinário de Política Fundiária, 1999.

CARVALHO, P. E. R. **Sabiá Mimosa caesalpiniaefolia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 10 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 135)

Centro de Tecnologia Canaveieira – CTC. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2011.

Centro Nacional de Referência em Biomassa - CENBIO. **Metodologias de cálculo para conversão energética**. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/metodologiabiomassa.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

_____. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/>>. Acesso em: 19 ago. 2011.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; APOLINARIO, S. M. Biomassa como fonte de energia: a perspectiva brasileira. **Revista Brasileira de Bioenergia**. São Paulo, ano 1, n. 2, p. 35-38, out., 2007.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E, S.; AYARZA, J. A. C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E, S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2008. p. 15-27.

ESQUERDO, V. F. S.; BERGAMASCO, S. M. P. P. **Reforma agrária e assentamentos rurais: perspectivas e desafios**. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portal/nead/arquivos/download/Artigo_012.pdf?file_id=9145714>. Acesso em: 02 jan. 2013.

FERNANDES JUNIOR, L. A. P. **Análise, caracterização e aplicações da fração sólida de conversão à baixa temperatura de biomassas**. 2007. 159f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Instituto de Química. Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2007.

FLORES, R. A. **Produção de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado**: resposta a adubação nitrogenada e idade de corte. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Agronomia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

GALEMBECK, F.; BARBOSA, C. A. S.; SOUSA, R. A. de. Aproveitamento sustentável de biomassa e de recursos naturais na inovação química. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 571-581, 2009.

GARCIA, R. **Combustíveis e combustão industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

IRMÃOS LIPPEL & CIA LTDA. **Produtos para biomassa**. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/>>. Acesso em: 21 ago. 2011.

JAHN, T. G. et al. **Propriedades de biomassas para uso como energético no setor cerâmico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 52., 2008,

Florianópolis. Anais eletrônicos... Florianópolis: UFSC, 2008. Disponível em: <http://srv.emc.ufsc.br/labtermo/siteLabCET/publicaV/art_cerV/A21_52cbc_03_012%20biomassa.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2012.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos**. 2008. 192 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

LEWANDOWSKI, I.; KICHERER, A. Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of Miscanthus x giganteus. **European Journal of Agronomy**, v. 6, p. 163- 177, 1997.

LIMA, E. A. de; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. **Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 03 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 220)

LIMA, K. K. S.; LOPES, P. F. M. A qualidade sócioambiental em assentamentos rurais do Rio Grande do Norte, Brasil. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2295-2300, 2012.

LIRA, M. R. et al. (ed.). **Capim elefante: fundamentos e perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass: overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002.

MOERS et al. **Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia**. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SUINOCULTURA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL, 1., 2011, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos... Foz do Iguaçu: Inbradess, 2011. Disponível em: <<http://inbradess.org.br/wp-content/uploads/2012/01/t06.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2012.

MORAIS, R. F. de. **Potencial produtivo e eficiência da fixação biológica de nitrogênio de cinco genótipos de capim elefante (Pennisetum purpureum Schum.), para uso como fonte alternativa de energia**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2008.

NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização energética da biomassa vegetal. In: RENDEIRO, G. et al. **Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília, DF: MME, 2008. p.52-63.

OLIVEIRA, J. T. da S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OPERATING INSTRUCTIONS IKA C 200. **Calorimeter system C 200**. Disponível em: <http://www.ika.net/ika/product_art/manual/ika_c_200_en.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2011.

PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **O capim elefante**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1993.

PEREIRA, F. A. **Efeito da granulometria e de aglutinantes nas propriedades de briquetes de finos de carvão vegetal**. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

QUESADA, D. M. **Parâmetros Quantitativos e Qualitativos de diferentes Genótipos de capim elefante com potencial para uso energético**. 2005. 76f. Tese (Doutorado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2005.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. n. 89, p. 100-106, 2005.

REINALDO FILHO, L. L.; BEZERRA, F. D. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**. ETENE/BNB, 2010.

RENDEIRO, G. Pré-tratamento da biomassa. In: RENDEIRO, G. et al. **Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília, DF: MME, 2008. p.64-72.

Revista Brasileira de Bioenergia. **O potencial do capim-elefante**. São Paulo, ano 5, n. 11, p. 40-43, maio, 2011.

Revista da Madeira – REMADE. **Plantações energéticas de bambu**. Disponível em:

<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1420&subject=E%20mais&title=Planta%E7%F5es%20energ%E9ticas%20de%20bambu>. Acesso em: 12 dez. 2011.

Revista Época. **O capim que gera energia**. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Revista/Common/0,,EMI131148-16368,00-O+CAPIM+QUE+GERA+ENERGIA.html>>. Acesso em: 19 fev. 2012.

RIBASKI, J. et al. **Sabiá (Mimosa caesalpiniaefolia) árvore de múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 104).

ROSILLO-CALLE, F; BAJAY, S. V. ROTHMAN, H (Org.). **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.

SCAPINELLO, C. et al. Utilização da farinha de varredura de mandioca na alimentação de coelhos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 28, n. 1, p. 39-45, 2006.

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante**. Tese de Doutorado, Unicamp, 2003, 148p.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE. **Florestas Energéticas**. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/o-setor/florestas-energeticas/o-que-e>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA – SIDRA. **Dados de previsão de safra – produção de Alagoas**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=1&z=t&o=26&u2=1&u3=1&u4=1&u1=24>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

SOUZA, J. E. A. de. **Avaliação das diversas fontes e tipos de biomassa do estado de Alagoas**: estudo de suas características físico-químicas e de seu potencial energético. 2011. 180f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2011.

STREHLER, A., Technologies of wood combustion. **Ecological Engineering**, v. 16, p.25 – 40, 2000.

STREZOV, V.; EVANS, T. J. HAYMAN, C. Thermal conversion of elephant grass (*Pennisetum Purpureum Schum*) to bio-gas, bio-oil and charcoal. **Biomass and Bioenergy**, v. 99, p. 8394-8399, 2008.

SUASSUNA, J. **Contribuição para o cálculo de volume do sabiazeiro**. Disponível em:
<http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=739&Itemid=717>. Acesso em: 15 nov.2012.

ZIGLIO, B. R. et al. Elaboração de pães com adição de farinha de sabugo de milho. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 9 n. 1, p. 115-128, 2007.