



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RAFAEL BARBOSA DE VASCONCELOS

**ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DAS ESPÉCIES:
EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*), MARMELEIRO (*Croton sonderianus*) e IPÊ ROXO
(*Handroanthus impetiginosus*)**

FORTALEZA

2017

RAFAEL BARBOSA DE VASCONCELOS

ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DAS ESPÉCIES:
EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*), MARMELEIRO (*Croton sonderianus*) e IPÊ ROXO
(*Handroanthus impetiginosus*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof. Dr^a. Maria Alexandra de Sousa Rios

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V451a Vasconcelos, Rafael Barbosa de.

Análise imediata e avaliação do poder calorífico das espécies: eucalipto (*eucalyptus globulus*), marmeleiro (*croton sonderianus*) e ipê roxo (*handroanthus impetiginosus*) / Rafael Barbosa de Vasconcelos. – 2017.

45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.

Orientação: Profa. Dra. Maria Aleksandra de Sousa Rios.

1. Biomassa. 2. Potencial energético. 3. Combustível sólido. I. Título.

CDD 620.1

RAFAEL BARBOSA DE VASCONCELOS

**ANÁLISE IMEDIATA E AVALIAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DAS ESPÉCIES:
EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*), MARMELEIRO (*Croton sonderianus*) e IPÊ ROXO
(*Handroanthus impetiginosus*)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em: 10/01/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Alexandra de Sousa Rios (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Rosana Maria Alves Saboya
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Ada Amélia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Meishu-Sama, pela vida e todas as dádivas recebidas.

Aos meus pais, Audizio Vasconcelos e Cristina Barbosa, pelo amor, carinho e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Aos meus irmãos Renato Vasconcelos e Rebeca Vasconcelos, pelos belos exemplos que me passam.

A minha namorada Gabriella Ximenes, pelo apoio e a compreensão.

À Prof^ª. Dr^ª. Aleksandra Rios, pela excelente orientação e pelas valiosas colaborações e sugestões, e também por ceder as instalações do Laboratório de Referência em Biocombustíveis (LARBIO) para o desenvolvimento deste trabalho.

À Prof^ª. Dr^ª. Ada Lopes e a Prof^ª. Dr^ª. Rosana Saboya, da banca examinadora, pela disponibilidade em avaliar e colaborar no aperfeiçoamento deste trabalho.

As colegas Rosali Barbosa e Mariana Vidal, pelo auxílio e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos amigos da turma de Engenharia Mecânica, Dávila Lopes, Felipe Martins, Hiago Maciel e Thais Bessa, pelas experiências compartilhadas e risadas, nos momentos de alegria e tristeza, durante esses últimos 5 anos.

“Nenhum cientista pensa com fórmulas.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O Brasil possui uma grande área cultivável e condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento de diversas espécies de plantas. Dentre estas, espécies que podem ter como finalidade a produção de biomassa para a geração de energia renovável. Porém, faz-se necessário um estudo para saber quais espécies possuem as melhores propriedades no que diz respeito a análise imediata e o poder calorífico. Este foi o objetivo do presente estudo, que analisou amostras de **Eucalipto** (*Eucalyptus globulus*), **Marmeleiro** (*Croton sonderianus*) e **Ipê roxo** (*Handroanthus impetiginosus*), espécies típicas da Caatinga, de acordo com as propriedades de teor de umidade, teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e poder calorífico superior, afim de viabilizar a utilização dessas espécies para a geração de energia. De acordo com a análise dos resultados obtidos, o Marmeleiro foi o que apresentou o melhor potencial energético (18,046 MJ/kg), um teor de materiais voláteis de 89,50 %, o menor teor de umidade (8,78 %) e um baixo teor de cinzas (1,42 %), caracterizando-o como um potencial energético, dentre as espécies analisadas, para a utilização como combustível sólido. O Eucalipto apresentou resultados satisfatórios, como o poder calórico (17,311 MJ/kg) e o teor de cinzas de 1,42 %, porém apresentou um alto teor de umidade (10,94%). O Ipê roxo é o menos indicado como combustível sólido, pois apresentou o maior teor de cinzas (2,04%)

Palavras-chave: Biomassa. Potencial energético. Combustível sólido.

ABSTRACT

Brazil has a large cultivable area and favorable climatic conditions for the development of several plant species. Among these, species that may have the purpose of biomass production for renewable energy generation. However, it is necessary to study which species have the best properties regarding immediate analysis and calorific value. This was the goal of this study, which analyzed samples of **Eucalyptus** (*Eucalyptus globulus*), **Quince Tree** (*Croton sonderianus*) and **Purple Ipe** (*Handroanthus impetiginosus*), all Caatinga common species, according to the properties of moisture content, ash content, volatile material content, fixed carbon content and high calorific value, in order to make feasible the use of these species to energy production. According to the analysis of the obtained results, the Quince Tree presented the best energetic potential (18.046 KJ/Kg), a volatile material content of 89.05%, the lowest moisture content (8.78%) and a low ash content (1.42%), making it a energetic potential, among the analyzed species, for its use as a solid fuel. Eucalyptus provided satisfying results, with a calorific value of (17.311 MJ/kg) and ash content of 1.42%, but showed a high moisture content (10.94%). The Purple Ipe is the least indicated to be used as a solid fuel, for presenting the highest ash content (2.04%).

Keywords: Biomass. Energetic potential. Solid Fuel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Oferta interna de energia	17
Figura 2	– Volume importado de petróleo	18
Figura 3	– Produção de energia primária	19
Figura 4	– Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa..	20
Figura 5	– Plantação de Eucalipto	22
Figura 6	– Marmeleiro	22
Figura 7	– Ipê roxo	23
Figura 8	– Balança medidora de umidade modelo ID-200 (Marte)	26
Figura 9	– Forno mufla da marca Quimis	26
Figura 10	– Bomba calorimétrica modelo C200 (IKA)	28

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Teor de umidade do Eucalipto	29
Gráfico 2 – Teor de umidade do Marmeleiro	30
Gráfico 3 – Teor de umidade do Ipê roxo	30
Gráfico 4 – Teor de materiais voláteis do Eucalipto	31
Gráfico 5 – Teor de materiais voláteis do Marmeleiro	32
Gráfico 6 – Teor de materiais voláteis do Ipê roxo	33
Gráfico 7 – Teor de cinzas do Eucalipto	34
Gráfico 8 – Teor de cinzas do Marmeleiro	34
Gráfico 9 – Teor de cinzas do Ipê roxo	35
Gráfico 10 – Teor de carbono fixo do Eucalipto	36
Gráfico 11 – Teor de carbono fixo do Marmeleiro	37
Gráfico 12 – Teor de carbono fixo do Ipê roxo	37
Gráfico 13 – Poder calorífico superior do Eucalipto	38
Gráfico 14 – Poder calorífico superior do Marmeleiro	39
Gráfico 15 – Poder calorífico superior do Ipê roxo	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Melhores resultados	41
----------	-----------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
ANP	Agência Nacional de Petróleo
MME	Ministério de Minas e Energia
IEA	International Energy Agency
IBA	Instituto Brasileiro de Árvores
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária
IBF	Instituto Brasileiro de Florestas
LARBIO	Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
ASTM	American Society for Testing and Materials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
SEAGRI	Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura do Estado da Bahia

LISTA DE SÍMBOLOS

T_u	Teor de umidade em base úmida
T_s	Teor de umidade em base seca
m	Massa
T_v	Teor de materiais voláteis
T_c	Teor de cinzas
T_{cf}	Teor de carbono fixo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Matriz energética brasileira	17
3.1.1	<i>Fontes renováveis de energia</i>	18
3.2	Biomassa	19
3.2.1	<i>Biomassa de origem vegetal</i>	20
3.3	Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	21
3.4	Marmeleiro (<i>Croton sonderianus</i>)	22
3.5	Ipê roxo (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Origem das amostras	25
4.2	Caracterização dos materiais	25
4.2.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	25
4.2.2	<i>Determinação do teor de materiais voláteis</i>	26
4.2.3	<i>Determinação do teor de cinzas</i>	27
4.2.4	<i>Determinação do teor de carbono fixo</i>	27
4.2.5	<i>Determinação do poder calorífico superior</i>	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Teor de umidade	29
5.2	Teor de materiais voláteis	31
5.3	Teor de cinzas	33
5.4	Teor de carbono fixo	36
5.5	Poder calorífico superior	38
6	CONCLUSÃO	41
7	SUGESTÕES	43
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A energia é peça fundamental no desenvolvimento de uma nação, pois, sem ela, as atividades socioeconômicas não se desenvolvem. Uma vez que possibilita o desenvolvimento de novos produtos e de infraestrutura, a energia traz também bem-estar e qualidade de vida para a população.

Porém, ao longo do tempo, o aumento do consumo de energia oriunda de fontes não renováveis está trazendo cada vez mais problemas. A atual matriz energética brasileira está centrada em fontes de energia não renovável, compostas, em sua maioria, pela queima de combustíveis fósseis (BEN, 2015). Além da quantidade finita dessas fontes, o uso de combustível fóssil emite gás carbônico (CO₂) para atmosfera, que contribui com aquecimento global, a formação de chuvas ácidas e poluição da atmosfera, causando assim inúmeros problemas ao meio ambiente.

A solução para esse problema é a substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia renovável, que são aquelas encontradas em grande quantidade na natureza e que possuem regeneração natural. Energia eólica, geotérmica, das marés, das ondas, solar e biomassa, são todas elas fontes de energia renovável.

A biomassa tem sido cogitada como uma das alternativas aos combustíveis fósseis por serem oriundas de resíduos orgânicos, que podem ser de origem animal, vegetal ou urbano, de alta eficiência energética, com baixo custo de aquisição, que possuem fácil armazenamento, menor risco de desastres ambientais e baixo nível de poluição.

Há menos de 50 anos a biomassa gerava mais de 50% da energia consumida no Brasil, por meio da queima da madeira. E era considerada, até certo tempo, um indicio de atraso econômico e tecnológico (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Devido à riqueza da flora brasileira, ainda existem muitas fontes de origem vegetal que necessitam de investigação aprofundada no que se refere aos dados de análise imediata (teor de umidade, de materiais voláteis, de cinzas, de carbono fixo) e poder calorífico.

Neste sentido, a ideia central deste trabalho foi investigar e gerar um banco de dados para as espécies **Eucalipto** (*Eucalyptus globulus*), **Marmeleiro** (*Croton sonderianus*) e **Ipê roxo** (*Handroanthus impetiginosus*) baseado nas propriedades de teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O trabalho teve como objetivo geral caracterizar fontes energéticas de espécies da biomassa regional para a elaboração de um banco de dados.

2.1 Objetivos específicos

Caracterizar amostras das espécies **Eucalipto** (*Eucalyptus globulus*), **Marmeleiro** (*Croton sonderianus*) e **Ipê roxo** (*Handroanthus impetiginosus*) quanto as seguintes propriedades:

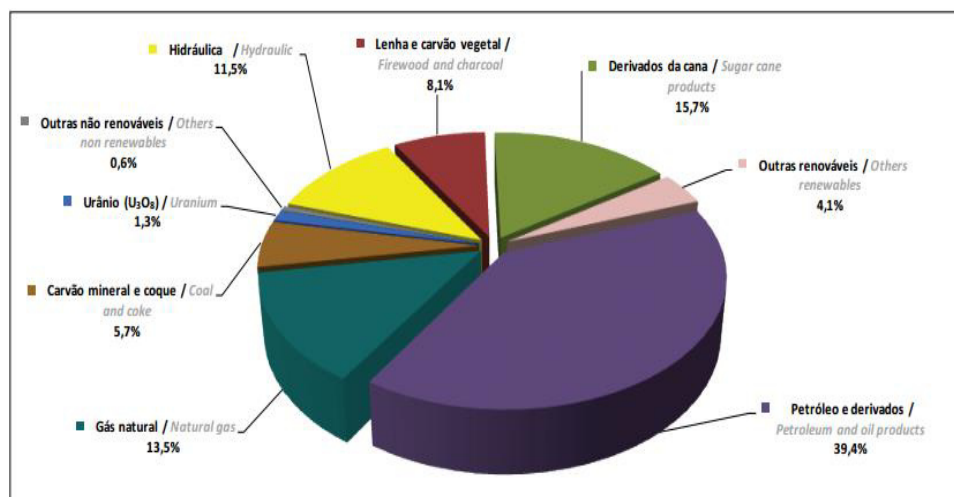
- Teor de umidade;
- Teor de cinzas;
- Teor de materiais voláteis;
- Carbono fixo;
- Poder calorífico superior.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matriz energética brasileira

A atual matriz energética brasileira é bem diversificada em relação a quantidade de fontes geradoras de energia. Porém, quando se atenta a representatividade de cada fonte, constata-se uma grande dependência em relação aos combustíveis fósseis. Segundo dados do Balanço Energético Nacional do ano de 2015, a oferta interna de energia está centrada na queima de fontes fósseis, principalmente, petróleo e seus derivados, conforme pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 – Oferta interna de energia.



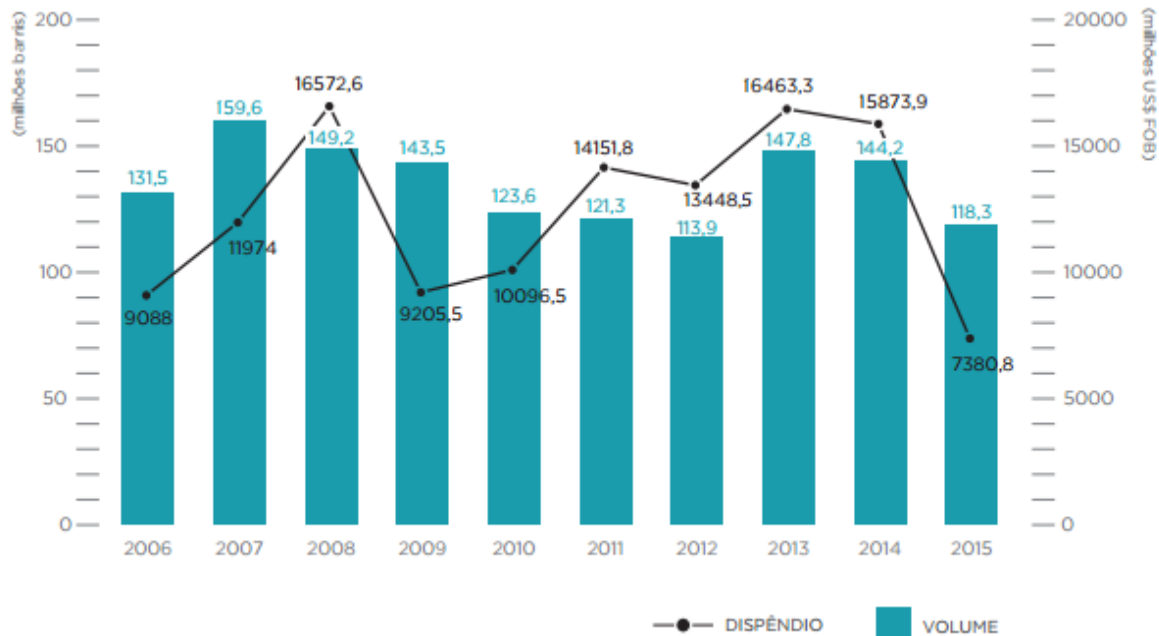
Fonte: Balanço Energético Nacional (2015).

A dependência do uso do petróleo para suprir a demanda interna de energia levanta uma série de preocupações do ponto de vista econômico e ambiental. O aumento da produção interna de petróleo fez com que o Brasil buscasse cada vez mais a autossuficiência, entretanto, o investimento em petróleo consome boa parte da renda disponível no país. Ainda assim, essa autossuficiência é momentânea, não havendo garantias a longo prazo, uma vez que a relação entre as reservas provadas e a produção atual é da ordem de vinte anos (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Vale ressaltar que o petróleo de origem brasileira não é de boa qualidade, fazendo com que ainda sejam necessárias importações. A autossuficiência na produção de petróleo se dá apenas em termos quantitativos, ou seja, produz-se a quantidade necessária para suprir a demanda interna, porém essa quantidade não abastece todo o mercado, pois, em casos específicos, é necessário um petróleo de qualidade superior. Apesar da autossuficiência na

produção, o Brasil continua dependente do comércio de petróleo e seus derivados, conforme observa-se na Figura 2, e sujeito as instabilidades econômicas desse mercado.

Figura 2 – Volume importado de petróleo.



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro da Agência Nacional de Petróleo (2016).

A queima de combustível fóssil é o principal causador do aumento da temperatura média, devido ao fenômeno conhecido como efeito estufa. Este fenômeno provocará a curto e médio prazo, perturbações climáticas catastróficas, pondo em risco todo o ecossistema do planeta (BARBOSA, 2002).

3.1.1 Fontes renováveis de energia

É nesse contexto de dependência de importações e dos problemas ambientais causados pelo uso dos combustíveis fósseis, que devem ser encontradas novas fontes de energia que sejam renováveis e possam ser encontradas em abundância no país.

No ano de 2014, as fontes de energia renovável representaram 43,5 % da produção nacional, conforme observa-se na Figura 3. Vale ressaltar que o ano de 2014 marca o início da queda do valor do barril de petróleo, que passava de 120 dólares em meados de 2014, e em janeiro de 2016 estava cotado em torno de 30 dólares. Mesmo com essa baixa no valor do barril de petróleo, os investimentos em energia renovável continuaram crescentes. O que demonstra a importância deste tipo de fonte de energia (BASSO, 2016).

Figura 3 - Produção de energia primária.

FONTES	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	SOURCES
NÃO RENOVÁVEL	53,3	53,2	51,9	52,1	53,8	53,0	54,8	54,7	54,2	56,5	NON-RENEWABLE ENERGY
PETRÓLEO	42,0	42,1	40,6	39,7	42,0	42,1	42,5	41,7	40,6	42,8	PETROLEUM
GÁS NATURAL	8,8	8,3	8,1	9,0	8,7	9,0	9,3	10,0	10,8	11,6	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	1,2	1,0	1,0	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0	1,3	1,1	STEAM COAL
CARVÃO METALÚRGICO	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	METALLURGICAL COAL
URÂNIO (U ₃ O ₈)	0,7	1,1	1,6	1,7	1,7	0,7	1,6	1,5	0,9	0,2	URANIUM - U ₃ O ₈
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	OTHER NON-RENEWABLE
RENOVÁVEL	46,7	46,8	48,1	47,9	46,2	47,0	45,2	45,3	45,8	43,5	RENEWABLE ENERGY
ENERGIA HIDRÁULICA	14,5	14,2	14,4	13,4	14,0	13,7	14,4	13,9	13,0	11,8	HYDRAULIC
LENHA	14,2	13,5	12,8	12,4	10,2	10,3	10,1	10,0	9,5	9,1	FIREWOOD
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	15,5	16,6	18,1	19,0	18,6	19,3	16,9	17,6	19,1	18,1	SUGAR CANE PRODUCTS
OUTRAS RENOVÁVEIS	2,6	2,6	2,9	3,1	3,4	3,7	3,8	3,8	4,1	4,6	OTHER RENEWABLE
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Fonte: Balanço Energético Nacional (2015).

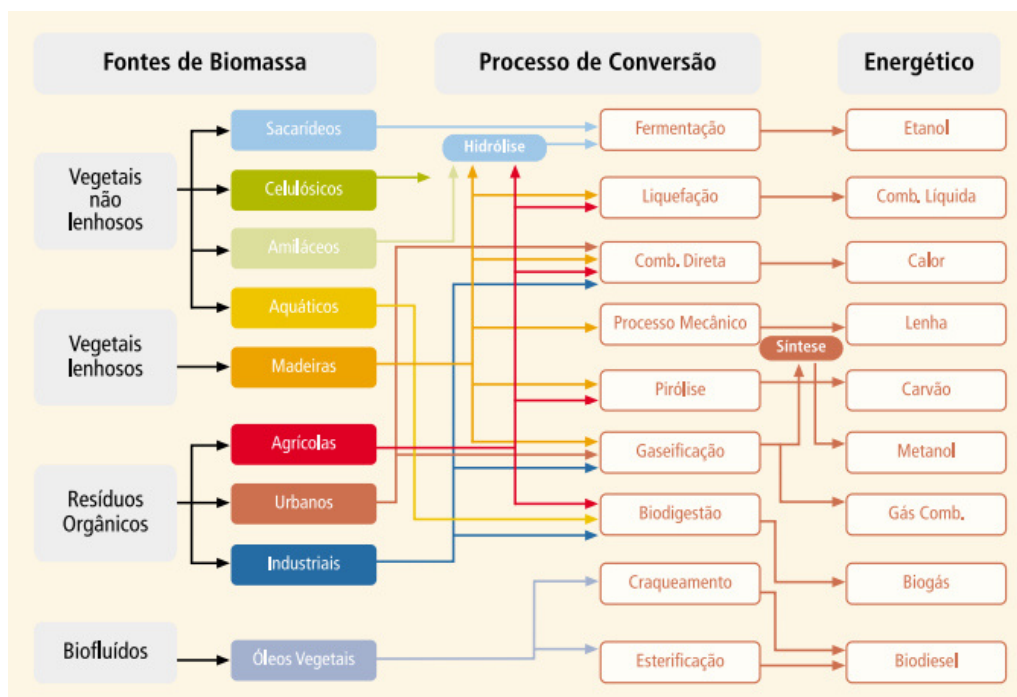
3.2 Biomassa

Analisando as tecnologias das fontes energéticas renováveis suficientemente maduras para serem empregadas comercialmente, somente a biomassa, utilizada em processos modernos com elevada eficiência tecnológica, possui a flexibilidade de suprir energéticos tanto para a produção de energia elétrica quanto para mover o setor de transportes (BARBOSA, 2002).

Biomassa é todo resíduo orgânico não fóssil, de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizado como fonte de energia renovável. Ela é uma forma indireta de energia solar, uma vez que a energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, que constitui a base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

A energia presente na biomassa pode ser transformada, mediante processos de conversão biológicos, físicos e químicos, em combustíveis gasosos (biogás), líquidos (etanol e biodiesel) e sólidos (carvão vegetal e lenha), conforme mostra a Figura 4. O principal objetivo dessa conversão é transformar um material carbonáceo de baixa eficiência energética, em um material de eficiência energética viável do ponto de vista econômico (AÇMA, 2003).

Figura 4 - Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.



Fonte: Ministério de Minas e Energia (2007).

Estudos do Ministério de Minas e Energia (2007) mostram que, até 2021, a participação das fontes renováveis de energia na matriz de Oferta Interna de Energia será superior a 44 %, sendo a biomassa responsável por percentuais superiores a 30 %.

Segundo pesquisa realizada pela IEA Bioenergy Task 40, divisão especializada em bioenergia da Agência Internacional de Energia, o Brasil é o país que mais utiliza biomassa na produção de energia, o que representa 16 % do uso mundial no setor (IBIOM, 2015).

3.2.1 Biomassa de origem vegetal

Os materiais de biomassa com potencial de alta energia incluem os resíduos agrícolas como: palha, bagaço de cana, casca de café, casca de arroz, entre outros; e os resíduos da floresta tais como lascas de madeira, serragem e casca. Os resíduos de atividades florestais representam 65 % do potencial energético da biomassa, enquanto que os resíduos de culturas agrícolas correspondem a 33 % (WERTHER *et al.*, 2000).

A biomassa de origem vegetal é oriunda, principalmente, do campo, resultante das atividades de colheita dos produtos agrícolas. O Brasil é um grande produtor agrícola e nos últimos anos a área plantada e a produção agrícola tiveram um crescimento importante. Essa produção agrícola gera uma grande quantidade de resíduos que são aproveitados

energeticamente em virtude das tecnologias existentes. Mas, atualmente o Brasil não aproveita mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais (CIRAD, 2014).

A imensa superfície do território brasileiro, quase em totalidade localizada em regiões chuvosas e tropicais, oferece condições excelentes para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica. (ANEEL, 2004)

3.3 Espécies estudadas

3.3.1 *Eucalipto* (*Eucalyptus globulus*)

O Eucalipto é uma planta nativa da Oceania e que foi trazida para o Brasil em meados de 1904 pelo silvicultor Edmundo Navarro de Andrade, para atender a demandada da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. No Brasil, ela se desenvolveu principalmente nas regiões Sul e Sudeste, porém adaptou-se muito bem ao clima temperado e a partir de 1965, com a lei de incentivos fiscais de reflorestamento, sua área de plantio no Brasil aumentou de 500 mil para 3 milhões de hectares, atingindo grande representatividade em quase todos os estados brasileiros (VALVERDE, 2007).

As plantações florestais de Eucalipto (Figura 5) são destinadas à produção de madeira para energia, celulose e processamento para a fabricação de chapas e serrados. Com a política de incentivos fiscais ao reflorestamento, que durou até 1988, associado ao seu alto potencial energético, as plantações florestais de Eucalipto foram importantes do ponto de vista ambiental. Elas passaram a ser fonte de matéria-prima para a produção de carvão vegetal, o que ocasionou uma diminuição na pressão sobre florestas nativas que eram cortadas com o objetivo de produzir carvão vegetal (SOARES *et al.*, 2004).

De acordo com a Embrapa (2012), o plantio de Eucalipto pode contribuir para preservar a Caatinga, que vem sendo degradada para a retirada de lenhas que abastecem fornos de indústrias. O rápido crescimento, a uniformidade da lenha e rendimento energético do Eucalipto, pode reduzir em 2,6 vezes a demanda por madeira da vegetação nativa da caatinga.

Figura 5 – Plantação de Eucalipto.



Fonte: Rural Centro (2012).

3.3.2 *Marmeleiro* (*Croton sonderianus*)

O Marmeleiro (Figura 6) é uma árvore que possui muitos galhos e folhas duras de cor verde. Sua origem remonta aos mares Cáspio e Negro, na Ásia. Acredita-se que os primeiros Marmeleiros plantados em terras brasileiras foram trazidos pelo militar português Martim Afonso de Souza, em 1532. A planta se habituou muito bem ao clima e logo se tornou uma cultura subspontânea, principalmente na Serra da Mantiqueira (SEAGRI, 2009).

Figura 6 – Marmeleiro.



Fonte: The Virtual Botanic Garden (2014).

Atualmente, a cultura do Marmeleiro está centrada principalmente em Minas Gerais, onde a marmelocultura exerceu um papel de destaque no desenvolvimento socioeconômico da região, com a implantação de indústrias processadoras de marmelos para a fabricação de doces e compotas na década de 30 (HIROTO, 2002 *apud* CAMPOS *et al.* 2004).

O cultivo do Marmeleiro está em fase de transição, onde existe uma forte tendência de sair do ponto de estagnação, com a implantação de novos e mais produtivos marmeleirais, com a ampliação de cultivos já existentes (PIO, 2006).

3.3.3 *Ipê roxo* (*Handroanthus impetiginosus*)

Segundo o Instituto Brasileiro de Florestas, o Ipê Roxo (Figura 7) é uma planta de tamanho médio de 30 m de altura e tronco de até 90 cm. As flores apresentam coloração roxa e, raramente, branca. Os frutos são vagens que contem sementes aladas, próprias para dispersão através do vento.

Figura 7 – Ipê roxo.



Fonte: Mercado Físico Rural (2016).

Existe uma ocorrência natural desta espécie do Maranhão até o Rio Grande do Sul, passando pelo Ceará. Ela é particularmente frequente nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. (IBF, 2015).

O Ipê Roxo é uma das plantas com flores mais belas da caatinga. Ela é uma planta de grande beleza para o uso ornamental, em função de sua intensa floração. O Ipê perde suas folhas,

no final do período chuvoso, e inicia a brotação que termina com uma intensa floração nos meses de junho e julho (CAVALCANTI, 2010).

As madeiras provenientes do Ipê Roxo possuem alta resistência mecânica e baixa retratilidade volumétrica. A secagem deste tipo de madeira ao ar é rápida. A madeira do Ipê é usualmente empregada para fabricação de portais e na construção civil, como vigas. A sua superfície é pouco brilhante e lisa, sendo considerada assim, “madeira de lei” (CARVALHO, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Origem das amostras

As amostras foram gentilmente cedidas pelo Laboratório de Referência em Biocombustíveis Prof. Expedito José de Sá Parente (LARBIO), localizado no Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), no Campus do Pici - CE, onde foram realizados os experimentos.

4.2 Caracterização dos materiais

Foram analisadas amostras dos gêneros **Eucalipto** (*Eucalyptus globulus*), **Marmeleiro** (*Croton sonderianus*) e **Ipê roxo** (*Handroanthus impetiginosus*), quanto as propriedades: teor de umidade, poder calorífico superior, teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo. Todas as análises foram feitas em quadruplicata.

4.2.1 Determinação do teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, seguiu-se o procedimento descrito na norma ASTM D3173. Utilizou-se uma balança para determinação de umidade, modelo ID-200, da fabricante Marte (Figura 8). Nela, obteve-se a massa úmida de cada amostra, com uma precisão de ($\pm 0,01$ g), posteriormente a resistência elétrica da balança foi ligada, gerando uma temperatura de 120 ± 10 °C, então, esperou-se a massa da amostra estabilizar, e foi feita uma nova pesagem, obtendo-se agora o valor da massa seca. Os teores de umidade foram obtidos pela diferença entre as massas da amostra, antes e após a secagem, como mostra as Equações 1(a) e 1(b).

$$T_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \% \quad (a) \quad T_s = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \% \quad (b) \quad (1)$$

Na qual:

T_u = teor de umidade da amostra em base úmida, em porcentagem (% b_u);

T_s = teor de umidade da amostra em base seca, em porcentagem (% b_s);

m_1 = massa inicial da amostra, antes da secagem (g);

m_2 = massa final da amostra, após a secagem (g).

Figura 8: Balança medidora de umidade modelo ID-200 (Marte).

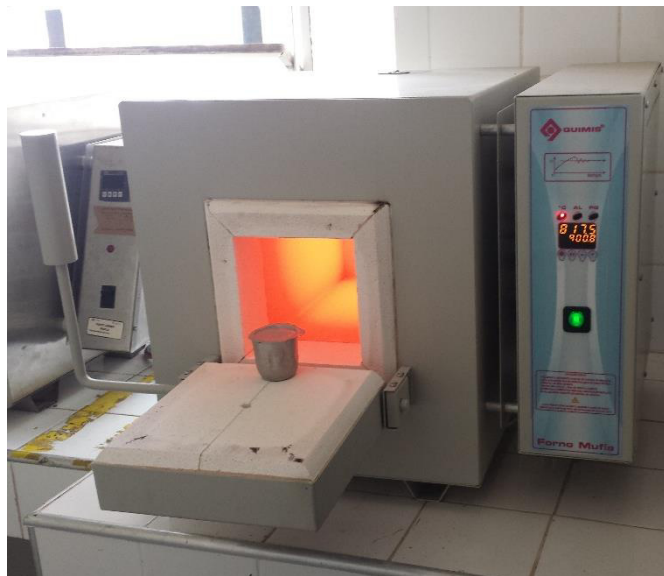


Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Determinação do teor de materiais voláteis

Após a retirada da umidade da amostra, uma amostra de aproximadamente 1 g foi colocada em um cadinho de platina e levada para o forno mufla, da marca Quimis, que estava aquecido a 900 °C. A amostra permaneceu durante três minutos, sobre a tampa do forno, como se pode observar na Figura 9. Logo em seguida, o cadinho foi colocado dentro do forno mufla e este permaneceu fechado por sete minutos. Este procedimento foi realizado em conformidade com a norma ASTM D3175.

Figura 9: Forno mufla da marca Quimis.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Após procedimento no forno mufla, o cadinho foi colocado em um dessecador para ser resfriado, e logo em seguida a amostra foi pesada. O teor de materiais voláteis foi obtido através da diferença entre a massa da amostra antes e depois aquecimento no forno mufla, de acordo com a Equação 2.

$$T_v = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \% \quad (2)$$

Na qual:

T_v = teor de voláteis, em porcentagem (%);

m_2 = massa inicial da amostra, sem umidade (g);

m_3 = massa final da amostra, após aquecimento no forno mufla (g).

4.2.3 Determinação do teor de cinzas

Uma amostra de aproximadamente 5 g da biomassa, foi colocada novamente no forno mufla, porém a temperatura de 525 °C, durante 4 horas, conforme descrito na norma ABNT NBR 13999. Após esse período, a amostrada foi resfriada em dessecador. O teor de cinzas foi calculado utilizando a Equação 3.

$$T_c = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \% \quad (3)$$

Na qual:

T_c = teor de cinzas, em porcentagem (%);

m_2 = massa inicial da amostra, *in natura* (g);

m_3 = massa final da amostra, após aquecimento no forno mufla (g).

4.2.4 Determinação do teor de carbono fixo

A análise para determinação do teor de carbono fixo, foi obtida através da Equação 4, que relaciona os valores do Teor de voláteis e Teor de cinzas.

$$T_{cf} = 100 \% - (T_v + T_c) \quad (4)$$

Na qual:

T_{cf} = teor de carbono fixo, em porcentagem (%);

T_v = teor de voláteis, em porcentagem (%);

T_c = teor de cinzas, em porcentagem (%).

4.2.5 Determinação do poder calorífico superior

Para a determinação do poder calorífico superior, realizou-se o procedimento descrito na norma ASTM E711-87. Amostras de aproximadamente 50 mg foram condicionadas em um cadinho e este foi colocado em uma bomba calorimétrica modelo C200, da marca IKA (Figura 10), afim de determinar o poder calorífico superior das amostras.

Figura 10: Bomba calorimétrica modelo C200 (IKA).



Fonte: Elaborada pelo autor.

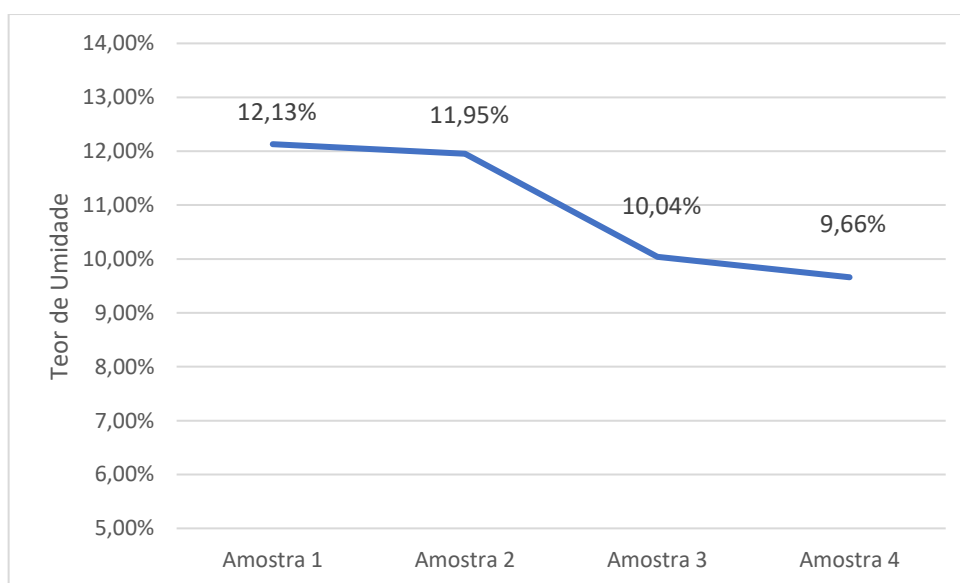
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos serão apresentados por meio de gráficos e comparados com os valores da literatura, quando existentes.

5.1 Teor de umidade

Foram calculados, para cada amostra, os teores de umidade em base úmida. Os valores para o Eucalipto são mostrados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Teor de umidade do Eucalipto.

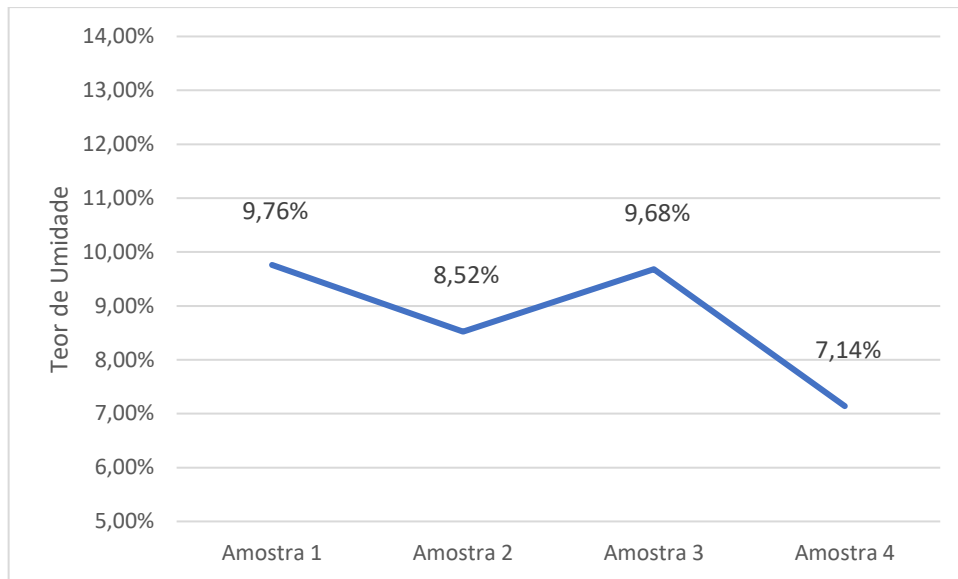


Fonte: Elaborado pelo autor.

O teor de umidade médio encontrado para o Eucalipto foi de 10,94%, variando de 9,66% a 12,13% e desvio padrão de 1,28%. Calegari *et al.* (2007), em seu trabalho, encontrou um teor de umidade de 12,86%. Segundo Oliveira *et al.* (2005) este valor se aproxima de 15,8%. Comparando o resultado obtido com os dados existentes na literatura, observou-se uma proximidade entre os valores.

Para as amostras de Marmeleiro, as análises apresentaram um valor médio para o teor de umidade de 8,78%, com desvio padrão de 1,23%, limite superior de 9,76% e limite inferior de 8,52% (Gráfico 2).

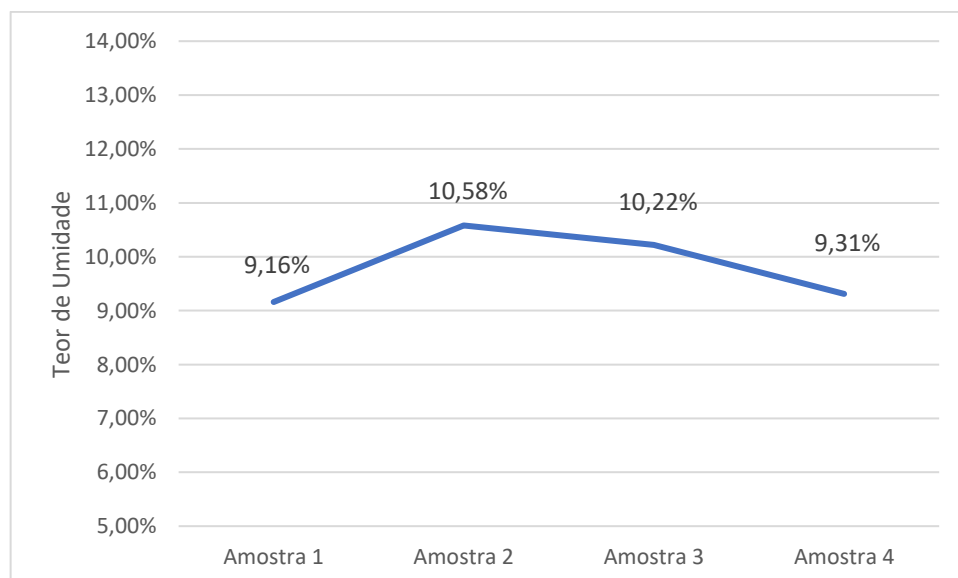
Gráfico 2 - Teor de umidade do Marmeleiro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 3 estão apresentados os resultados obtidos através da análise do teor de umidade das amostras de Ipê roxo.

Gráfico 3 - Teor de umidade do Ipê roxo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor médio para o teor de umidade do Ipê Roxo foi de 9,82%. As amostras apresentaram um desvio padrão de 0,69%.

Não foi encontrado na literatura dados sobre o teor de umidade do Marmeleiro e do Ipê Roxo. Porém, ambos apresentaram teor de umidade inferior aos briquetes produzidos a partir do bagaço de cana-de-açúcar e da casca do coco, que apresentam, segundo Martins (2016), 11% de umidade.

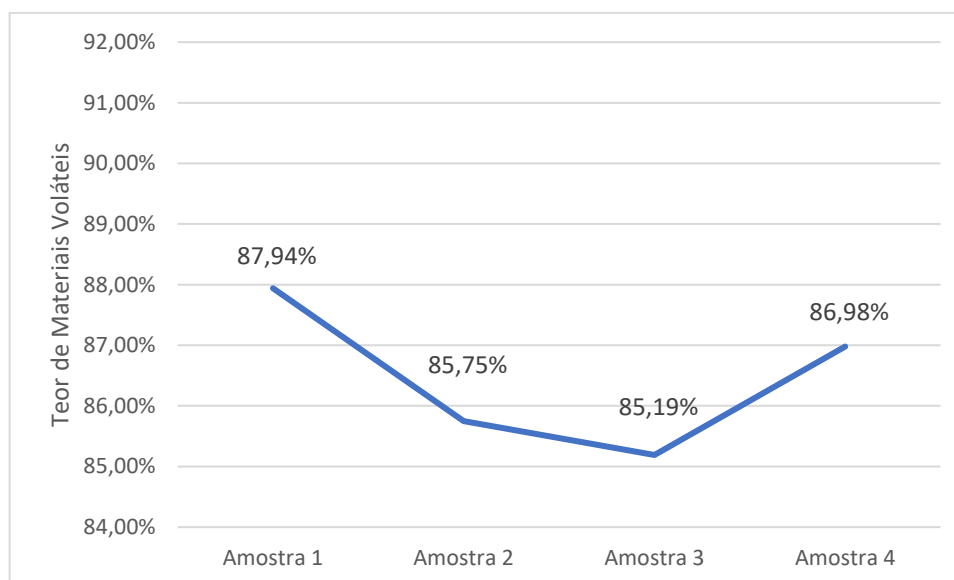
O alto teor de umidade faz com que a combustão, quando comparado com a amostra seca, seja menos energética. Valores acima de 50% para o teor de umidade são determinantes para a não utilização da biomassa, pois, acima deste valor, a energia liberada é insuficiente para a combustão (KLAUTAU, 2008).

Quando se compara os dados obtidos para as três biomassas, o Eucalipto (10,94%) é o que apresenta maior teor de umidade, seguindo do Ipê Roxo (9,82%) e do Marmeleiro (8,52%). Porém, todas as amostras analisadas apresentaram teor de umidade inferior a 50%.

5.2 Teor de materiais voláteis

O teor de materiais voláteis encontrado para o Eucalipto durante os experimentos obteve um resultado médio de 86,46% com desvio padrão de 1,24%, conforme observa-se no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Teor de materiais voláteis do Eucalipto.



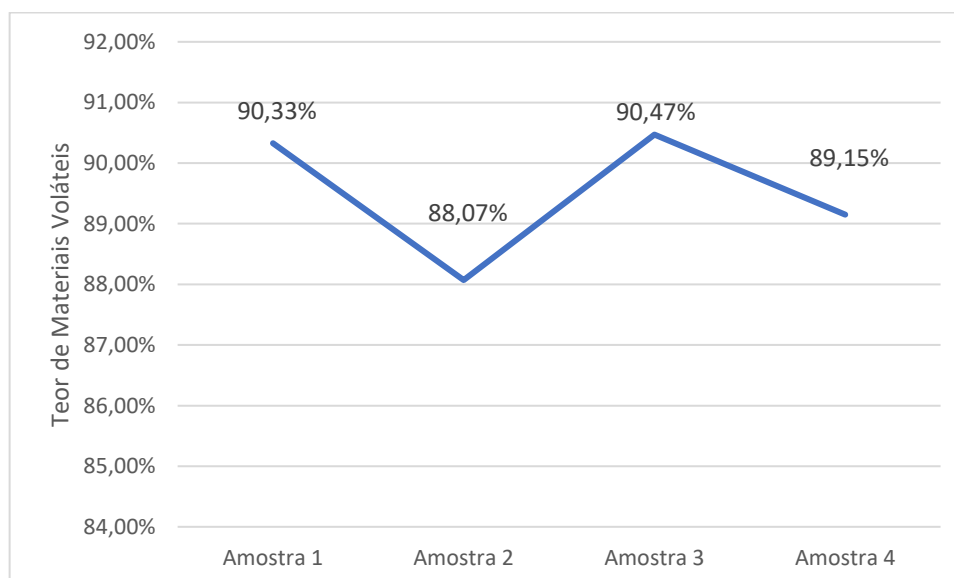
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Silva *et al* (1986) o teor de voláteis do Eucalipto foi 30,17%. Segundo Santiago *et al* (2005) o Eucalipto possui um teor de voláteis de 28,3%. Santos *et al* (2011) encontrou um valor de 11,74%.

Os dados encontrados na literatura diferem quanto a metodologia dos experimentos. Santiago *et al* (2005) seguiu os procedimentos da norma ASTM D1762-64 (Standard Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal), adaptada para carvão vegetal por Oliveira *et al* (1982), na qual a análise é feita a 400 °C e 600 °C, e não a 900 °C como foi realizado nos experimentos deste estudo. Silva *et al* (1986) seguiu os procedimentos da norma TAPPI T-15 m-58 (Ash in Wood) que utiliza 500 g de amostra a uma temperatura máxima de 700 °C. Santos *et al* (2011) baseou-se na ABNT NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) para realizar seus experimentos.

Para as amostras de Marmeleiro, as análises apresentaram um valor médio do teor de materiais voláteis de 89,50%, com um desvio padrão de 1,13% (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Teor de materiais voláteis do Marmeleiro.

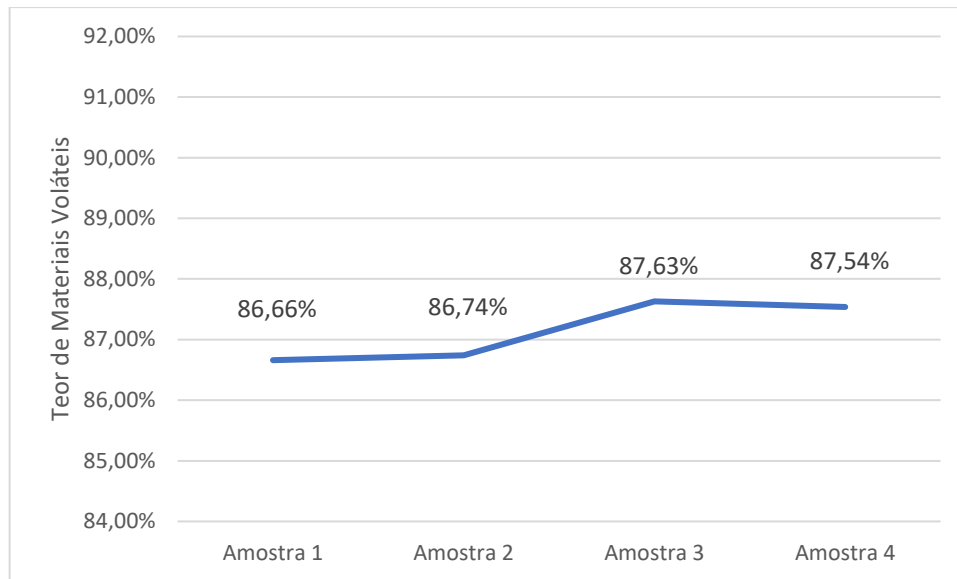


Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Santos (2013), o teor de voláteis para o Marmeleiro foi de 87,44%. Valor este, próximo dos valores encontrados para as amostras deste estudo.

No Gráfico 6 estão apresentados os resultados obtidos através da análise do teor de materiais voláteis, para as amostras de Ipê roxo.

Gráfico 6 - Teor de materiais voláteis do Ipê roxo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

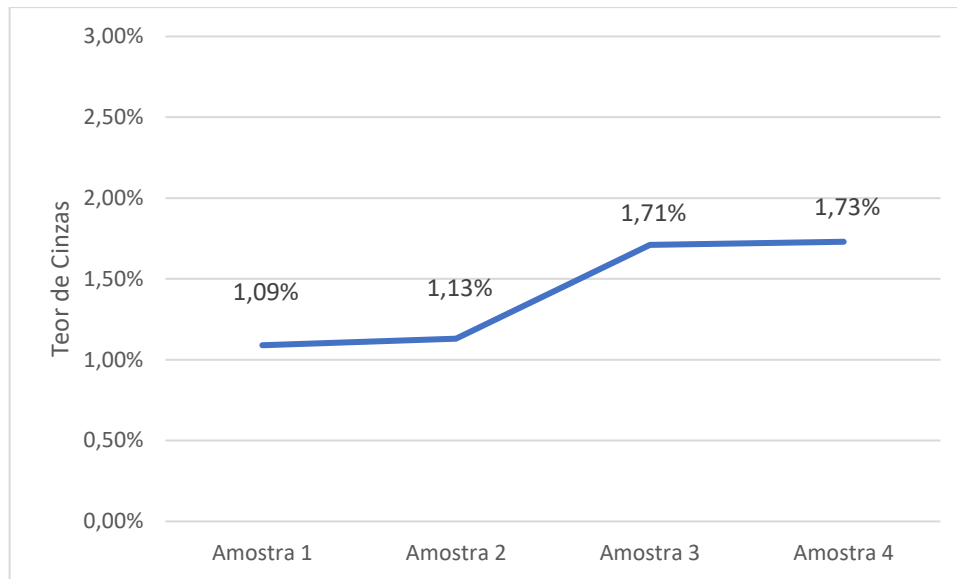
O valor médio para o teor de materiais voláteis do Ipê roxo foi de 87,14%. O resultado das amostras apresentou um desvio padrão de 0,51%. Observou-se que entre as três espécies, o Marmeleiro (87,44%) foi o que apresentou maior teor de materiais voláteis, seguido do Ipê roxo (87,14%) e do Eucalipto (86,46%).

Os materiais voláteis são substâncias que são desprendidas da madeira em forma de gases durante a queima. Os combustíveis que apresentam um alto teor de materiais voláteis são mais fáceis de oxidarem e queimam mais rapidamente. Embora o processo de combustão seja mais rápido, torna-se mais difícil de controlá-lo (BRITO; BARRICHELO, 2006).

5.3 Teor de cinzas

O teor de cinzas encontrado para o Eucalipto variou de 1,09% a 1,73%. O valor médio foi de 1,42%, com desvio padrão de 0,35% (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Teor de cinzas do Eucalipto.



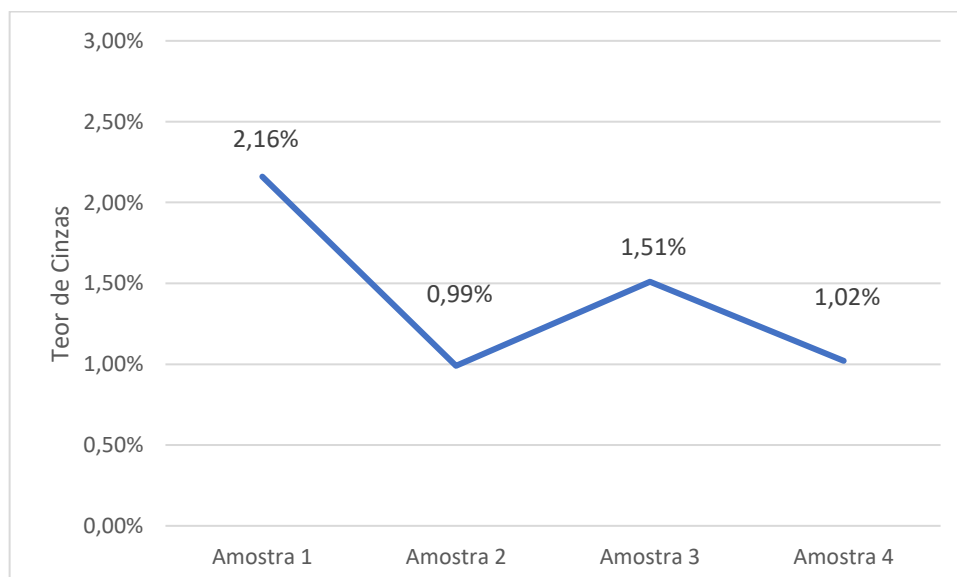
Fonte: Elaborado pelo autor.

Barrichelo *et al.* (1976) e Brito *et al.* (1977) encontram para o Eucalipto o teor de cinzas de 1%. Para Santiago (2005) esse valor foi de 1,2%. De acordo com Santos *et al.* (2011) o teor de cinzas do Eucalipto foi de 0,76%.

Com exceção do valor obtido por Santos *et al.* (2011), os valores encontrados para o teor de cinzas do Eucalipto estão bem próximos dos valores existentes na literatura.

Para as amostras de Marmeleiro, as análises apresentaram um valor médio para o teor de cinzas de 1,42% com um desvio padrão de 0,55% (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Teor de cinzas do Marmeleiro

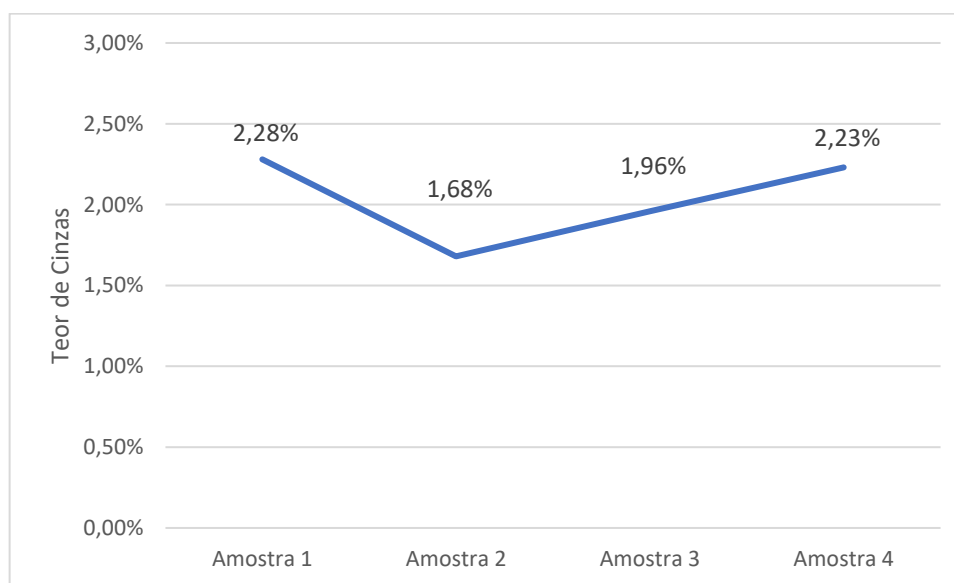


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Oliveira (2003), o teor de cinzas do Marmeleiro foi de 0,68%. Segundo Santos (2013) este valor foi de 0,29%.

O valor médio encontrado para o teor de cinzas do Marmeleiro diferiu significativamente daqueles encontrados na literatura. Vale ressaltar que essa discrepância pode ser devido ao fato dos resíduos não serem oriundos da mesma região. O Gráfico 9 mostra os resultados obtidos através da análise do teor de cinzas das amostras de Ipê roxo.

Gráfico 9 - Teor de cinzas do Ipê roxo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

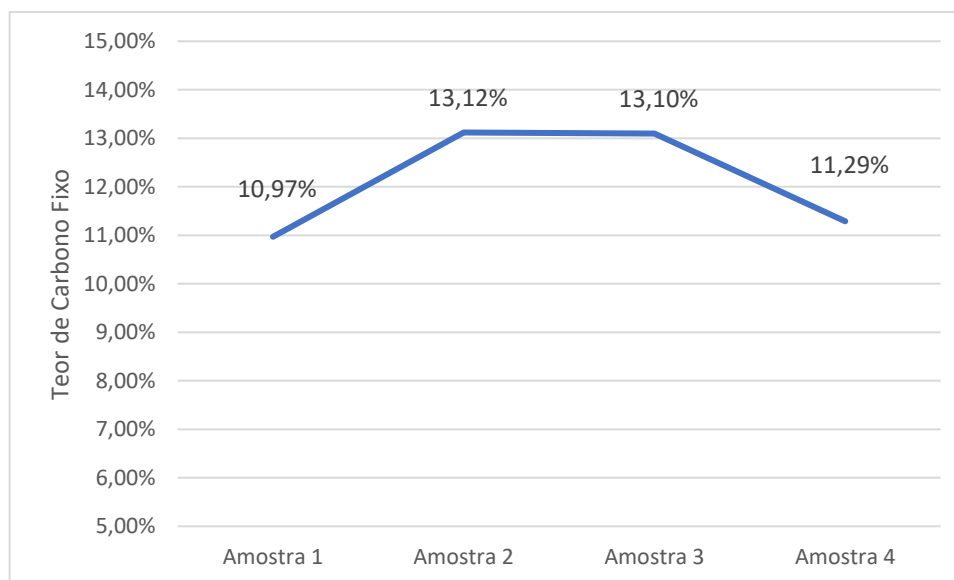
O valor médio para o teor de cinzas do Ipê roxo foi de 2,04%. As amostras apresentaram um desvio padrão de 0,28% e variaram entre o limite superior de 2,28% e inferior de 1,68%. O maior teor de cinzas encontrado foi o do Ipê roxo (2,04%). Eucalipto e Marmeleiro apresentaram o mesmo valor médio de 1,42% para o teor de cinzas.

O teor de cinzas afeta negativamente o poder calorífico da madeira. Ele diminuiu a eficiência da combustão devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas (HOFFMANN, 2010). Segundo Vale *et al.* (2011) valores de teor de cinzas superiores a 7% comprometem o processo de combustão. Sendo assim, as três espécies analisadas apresentaram resultados satisfatórios com relação ao teor de cinzas.

5.4 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo encontrado para o Eucalipto obteve valor médio de 12,12%. O desvio padrão foi 1,15% (Gráfico 10).

Gráfico 10: Teor de carbono fixo do Eucalipto.



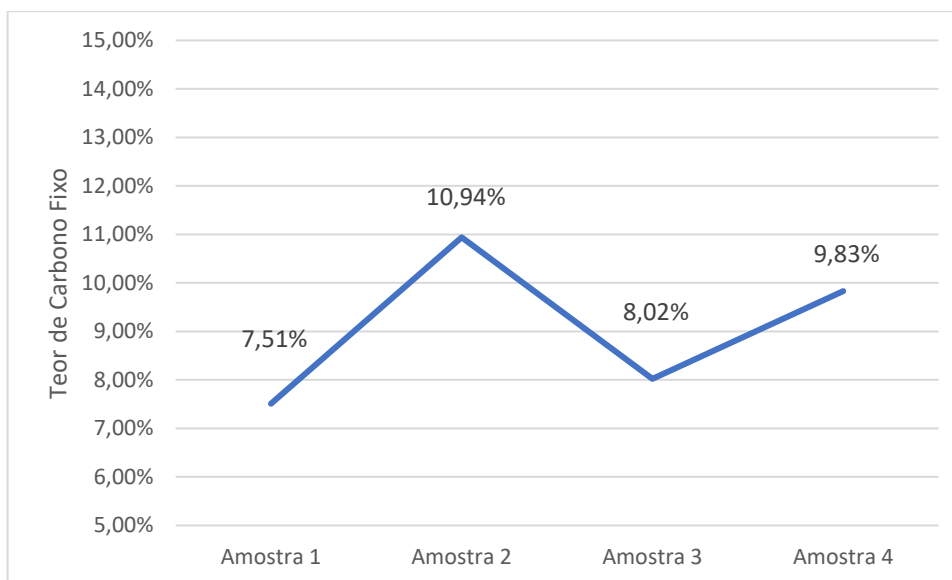
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Silva *et al.* (1986) o teor de carbono fixo do Eucalipto foi de 69,24%. Segundo Santiago *et al.* (2005) o Eucalipto possui um teor de carbono fixo de 70,6%. Para Santos *et al* (2011) este valor foi de 85,33%. De acordo com LORA (1997) *apud* Barcellos (2007) o teor de carbono fixo do Eucalipto é 17,82%.

A grande diferença entre os resultados obtidos durante os experimentos desse estudo, com aqueles existentes na literatura, deve-se, em grande parte, pelas diferentes metodologias utilizadas pelos autores, como foi explicitado nos resultados obtidos para o teor de voláteis.

Para as amostras de Marmeleiro, as análises apresentaram um valor médio para o teor de carbono fixo de 9,07%, com um desvio padrão de 1,59% (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Teor de carbono fixo do Marmeleiro.

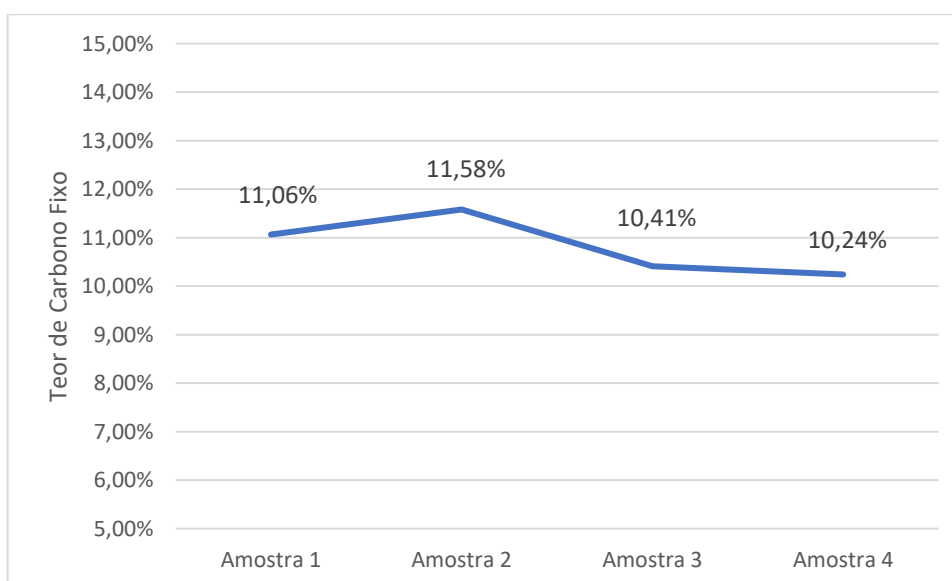


Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Santos (2013), o teor de carbono do Marmeleiro foi de 11,95%. Valor próximo ao encontrado nos experimentos realizados, considerando a margem do erro padrão.

O Gráfico 12 mostra os resultados obtidos para a análise de carbono fixo das amostras de Ipê roxo.

Gráfico 12 - Teor de carbono fixo do Ipê roxo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor médio para o teor de carbono fixo do Ipê roxo foi de 10,82%. As amostras apresentaram um desvio padrão de 0,62% e variaram entre o limite superior de 11,58% e inferior de 10,24%.

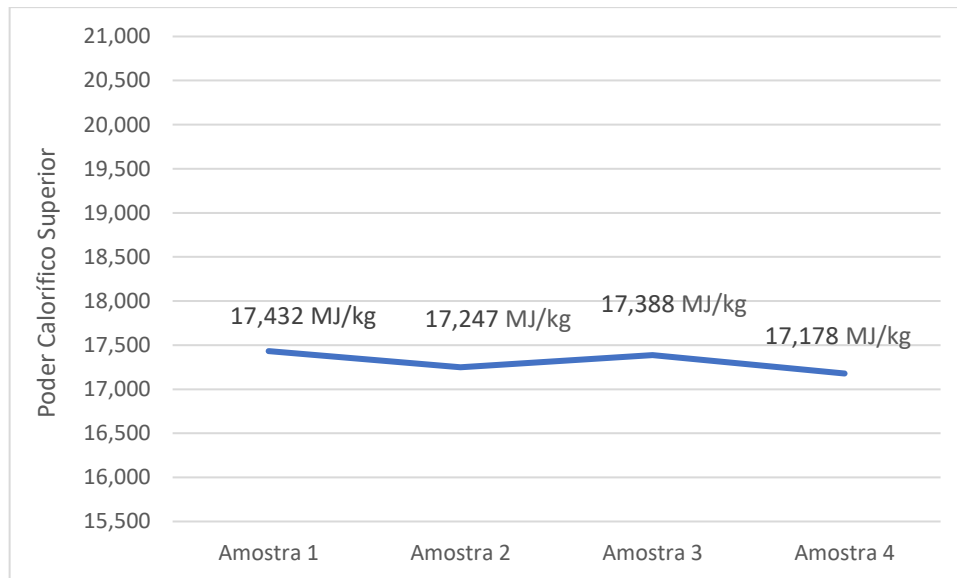
Comparando os valores médios para as três espécies analisadas, observa-se que o Eucalipto apresentou o maior teor de carbono fixo (12,12%), seguido do Ipê roxo (10,82%) e do Marmeleiro (9,07%).

De acordo com Sturion *et al.* (1988) *apud* Vieira (2012) a quantidade de carbono fixo presente na biomassa está relacionada com a quantidade de calor gerado, de maneira que, quanto maior o percentual de carbono fixo, mais lentamente o combustível irá queimar.

5.5 Poder calorífico superior

O valor médio encontrado para o poder calorífico superior do Eucalipto foi de 17,311 MJ/kg, com desvio padrão de 0,118 MJ/kg (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Poder calorífico superior do Eucalipto.



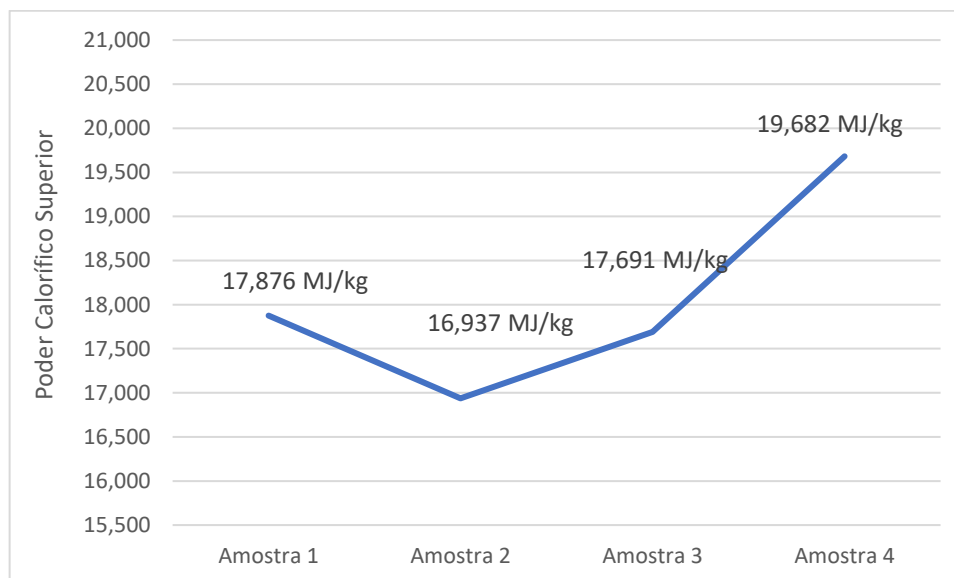
Fonte: Elaborado pelo autor.

Silva *et al.* (1983) encontrou o poder calorífico da madeira de Eucalipto variando entre 17,882 MJ/kg e 19,184 MJ/kg. Vale *et al.* (2004) encontrou valor médio equivalente a 19,418 MJ/kg. Já Brito *et al.* (1993) encontrou o valor de 18,958 MJ/kg.

Os valores encontrados na literatura, ainda que de espécies de diferentes regiões, estão próximos daqueles que foram encontrados nesse estudo.

Para as amostras de Marmeleiro, as análises apresentaram um valor médio para o poder calorífico superior de 18,046 MJ/kg e desvio padrão de 1,163 MJ/kg (Gráfico 14).

Gráfico 14 - Poder calorífico superior do Marmeleiro.

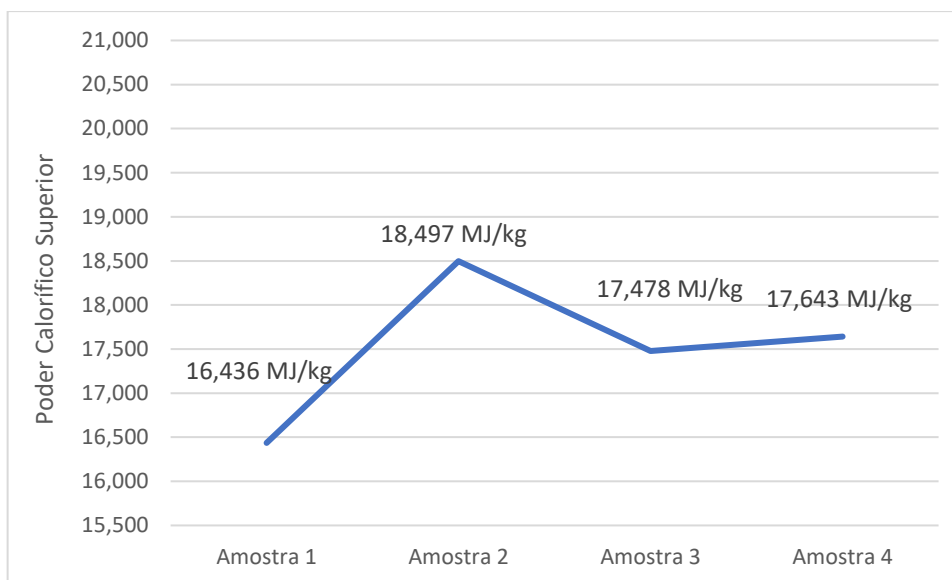


Fonte: Elaborado pelo autor.

Oliveira (2003) encontrou o valor de 18,150 MJ/kg para o poder calorífico superior do Marmeleiro. Valor este, bem próximo da média dos valores encontrados nesse estudo.

O valor do poder calorífico superior do Ipê Roxo variou entre 16,436 MJ/kg e 18,497 MJ/kg. O valor médio foi de 17,514 MJ/kg. As amostras apresentaram um desvio padrão de 0,846 MJ/kg (Gráfico 15).

Gráfico 15 - Poder calorífico superior do Ipê roxo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Comparando os resultados obtidos para as três biomassas, o Marmeleiro foi o que obteve maior poder calorífico superior (18,046 MJ/kg), seguido do Ipê roxo (17,514 MJ/kg), que não diferiu significativamente do Eucalipto (17,311 MJ/kg).

Quando comparadas com briquetes de coco ou de bagaço de cana-de-açúcar, constatou-se um alto poder calorífico das espécies pesquisadas, uma vez que, segundo Martins (2016), o briquete de coco possui poder calorífico superior de 16,495 MJ/kg e o briquete feito do bagaço da cana-de-açúcar de 15,868 MJ/kg.

Comparando os valores obtidos com o poder calorífico de outros resíduos florestais nativos da Caatinga, tem-se para a madeira do Pereiro, de acordo com Lima (1996), 16,995 MJ/kg, e para a Jurema Preta, segundo Oliveira (2003), 18,753 MJ/kg. Conclui-se que o poder calorífico das espécies analisadas, são satisfatórios do ponto de vista energético.

O poder calorífico é importante para conhecer a capacidade energética da biomassa. De acordo com Santos (2010), essa característica está diretamente relacionada com outros fatores, como a composição química imediata da madeira, especialmente as porcentagens de carbono fixo e cinzas, entre outros.

A Tabela 1 apresenta os melhores resultados obtidos, entre as três biomassas, levando em consideração se as propriedades analisadas influenciam positivamente ou negativamente em relação a utilização da biomassa como combustível sólido.

Tabela 1 – Melhores resultados.

Teor de umidade	8,78 %	Marmeleiro
Teor de materiais voláteis	89,50 %	Marmeleiro
Teor de cinzas	1,42 %	Marmeleiro e Eucalipto
Teor de carbono fixo	9,07 %	Marmeleiro
Poder Calorífico	18,046 MJ/kg	Marmeleiro

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos através das análises de biomassa oriundas das espécies de Eucalipto, Marmeleiro e Ipê roxo, constatou-se que as três possuem potencial energético para a utilização como fonte de energia.

O Marmeleiro é o mais indicado para a utilização como combustível sólido. Ele apresentou o maior poder calorífico superior (18,046 MJ/kg), maior teor de materiais voláteis (89,50%) e o menor teor de umidade (8,78%) e teor de cinzas igual ao do Eucalipto (1,42%). Porém, em contrapartida, apresentou o menor teor de carbono fixo (9,07%).

Quando se compara os resultados obtidos para o Ipê roxo e o Eucalipto, constata-se que o alto teor de cinzas (2,04%) associado ao baixo teor de carbono fixo (10,82%) do Ipê roxo, torna-o menos indicado ao uso. Uma vez que o Eucalipto possui menor teor de cinzas (1,42%) e maior teor de carbono fixo (12,12%). Eucalipto (17,311 MJ/kg) e Ipê roxo (17,514 MJ/kg) possuem valores próximos para o poder calorífico.

7 SUGESTÕES

A análise elementar seria interessante para descobrir os elementos químicos e suas representatividades em cada biomassa, visto que eles podem influenciar nas propriedades analisadas nesse estudo, principalmente na quantidade de calor gerado. Outra sugestão para pesquisa futura é a viabilidade da utilização dessas biomassas em forma de briquetes.

REFERÊNCIAS

AÇMA, H. H. **Combustion characteristics of different biomass materials.** *Energy Conversion e Management*. Istambul: pergamon, v. 44, p. 155-162, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **Análise química imediata do carvão vegetal**, NBR 8112. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **Determinação do resíduo de cinza após a incineração a 525°C**, NBR 13999. 2003.

ASTM E711-87 **Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2004.

ASTM D3175 **Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2013.

ASTM D3173 **Standart Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke**, ASTM Internacional, West Conshohocken, PA, 2011.

ANP. Agência Nacional de Petróleo. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. Home Page. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/images/publicacoes/Anuario_Estatistico_ANP_2016.pdf> Acesso em: 22 de novembro de 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Biomassa**. Home Page. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/05-biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicações/atlas/pdf/05-biomassa(2).pdf)> Acesso em: 22 de novembro de 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Parte I - Energia no Brasil e no mundo**. Home Page. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf> Acesso em: 24 de novembro de 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Parte II – Fontes Renováveis**. Home Page. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf> Acesso em: 22 de novembro de 2016.

Balanço Energético Nacional 2015. **Análise Energética e Dados Agregados**, Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015.

BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Potencialidade de Espécies Tropicais de Eucalipto para a Produção de Celulose Sulfato Branqueada**. IPEF, Piracicaba, n.13, p.9-38, 1976.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO, M; SALGADO, A.L.B. **Produção e Caracterização do Carvão Vegetal de Espécies e Variedades de Bambu** - IPEF, Piracicaba, n.36, p.13-17, ago.1987.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. - Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto.** IPEF, Piracicaba, (14): 9-20, jul.1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Comportamento isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização.** Piracicaba: ESALQ, 2006. 4 p. (Circular Técnica, 28).

CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J. **Monitoramento Do Teor De Umidade de Madeiras de *Pinus Elliottii Engelm* e *Eucalyptus Grandis W. Hill Ex Maiden*, sob Diferentes Temperaturas de Secagem, Através do Ultra-Som** - Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 399-408, out-dez, 2007.

CARDOSO, B. M. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2012.

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. **Florestas Energéticas podem contribuir para preservar a Caatinga.** Home Page. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1463940/florestas-energeticas-podem-contribuir-para-preservar-a-caatinga>>. Acesso em: 27 de novembro de 2016.

GOMES, P. A. **Teoria da carbonização da madeira**, In: Uso da madeira para fins energéticos, Belo Horizonte: CETEC, v.1,1980. p.27 – 42.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil** - Estudos Avançados 21 (59), 2007.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?**. 2010. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE, UFRJ, Rio de Janeiro: 2010.

IBA. Indústria Brasileira de Árvores. **Área de Árvores Plantadas.** Home Page. Disponível em: http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 27 de novembro de 2016.

IEA Bioenergy Task 40. **Relatório Brasil.** Home Page. Disponível em: <<http://www.bioenergytrade.org/downloads/iea-task-40-country-report-2014-brazil.pdf>> Acesso em: 26 de novembro de 2016.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Concorrente para Secagem de Grãos**. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) PPGERHA, UFPR. Curitiba: 2008.

LIMA, J. L. S. **Características físico-mecânicas e energéticas de madeiras do trópico semiárido do Nordeste do Brasil**. Boletim de pesquisa. EMBRAPA/CPATSA, n. 63, p.1-12, 1996.

MARTINS, J. M. **Estudo do Potencial Energético de Briquetes Produzidos a partir de Resíduos da Casca de Coco Verde e Bagaço de Cana**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energias. **Matriz Energética Nacional 2030**. Empresa de Pesquisa Energética - Brasília, 2007.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO, M. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. Rev. Árvore vol.29 no.1 Viçosa Jan. 2005.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROSILLO-CALLE, F. **Brief Account Of Brazil's Biomass Energy Potential**. Biomassa & Energia, v. 1, n. 3, p. 225-236, 2004.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. Z. M. **Carbonização De Resíduos do Processamento Mecânico da Madeira de Eucalipto**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-7, 2005.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; MENDES, A. F.; CASTRO, R. V. O. **Correlações Entre os Parâmetros de Qualidade da Madeira e do Carvão Vegetal de Clones de Eucalipto**. Sci. For., Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SILVA, J. C.; BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **Endocarpos De Babaçu E De Macaúba Comparados A Madeira De *Eucalyptus Grandis* Para A Produção De Carvão Vegetal**. IPEF, n.34, p.31-34, dez.1986.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. J. **Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco da bahia (*Cocos nucifera L.*)**. Biomassa & Energia, Viçosa, v. 1, p. 365-370, 2004.

VALE, A.T; MENDES, R.M.; AMORIM, M.R.S.; DANTAS, V.F.S. **Potencial Energético da Biomassa e Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*)**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, abr./jun. 2011.

VIEIRA, A. C.; **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.