

Emanuele Rodrigues Figueiredo  
Roberlucia Araújo Candeia  
Emanuel Tarcísio do Rego Farias  
Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho  
Antonio Hugo Costa Nascimento



# Preparação e caracterização de briquetes obtidos da vagem da moringa e do papel celulose

1<sup>o</sup> Edição

São José dos Pinhais

BRAZILIAN JOURNALS PUBLICAÇÕES DE PERIÓDICOS E EDITORA

2020



Emanuele Rodrigues Figueiredo  
Roberlucia Araújo Candeia  
Emanuel Tarcísio do Rego Farias  
Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho  
Antonio Hugo Costa Nascimento



**Preparação e caracterização de briquetes  
obtidos da vagem da moringa e  
do papel celulose**

1º Edição

**São José dos Pinhais  
2020**

2020 by Brazilian Journals Editora  
Copyright © Brazilian Journals Editora  
Copyright do Texto © 2020 Os Autores  
Copyright da Edição © 2020 Brazilian Journals Editora  
Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan  
Diagramação: Sabrina Binotti  
Edição de Arte: Sabrina Binotti  
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fátima Cibele Soares - Universidade Federal do Pampa, Brasil.  
Prof. Dr. Gilson Silva Filho - Centro Universitário São Camilo, Brasil.  
Prof. Msc. Júlio Nonato Silva Nascimento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Adriana Karin Goelzer Leining - Universidade Federal do Paraná, Brasil.  
Prof. Msc. Ricardo Sérgio da Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.  
Prof. Esp. Haroldo Wilson da Silva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil.  
Prof. Dr. Orlando Silvestre Fragata - Universidade Fernando Pessoa, Portugal.  
Prof. Dr. Orlando Ramos do Nascimento Júnior - Universidade Estadual de Alagoas, Brasil. Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Angela Maria Pires Caniato - Universidade Estadual de Maringá, Brasil. Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Genira Carneiro de Araujo - Universidade do Estado da Bahia, Brasil.  
Prof. Dr. José Arilson de Souza - Universidade Federal de Rondônia, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Maria Elena Nascimento de Lima - Universidade do Estado do Pará, Brasil.  
Prof. Caio Henrique Ungarato Fiorese - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Silvana Saionara Gollo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mariza Ferreira da Silva - Universidade Federal do Paraná, Brasil.  
Prof. Msc. Daniel Molina Botache - Universidad del Tolima, Colômbia.  
Prof. Dr. Armando Carlos de Pina Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.  
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Juliana Barbosa de Faria - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Esp. Marília Emanuela Ferreira de Jesus - Universidade Federal da Bahia, Brasil.  
Prof. Msc. Jadson Justi - Universidade Federal do Amazonas, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Alexandra Ferronato Beatrice - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil.  
Prof<sup>a</sup>. Msc. Caroline Gomes Mâcedo - Universidade Federal do Pará, Brasil.



Ano 2020

Prof. Dr. Dilson Henrique Ramos Evangelista - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil.

Prof. Dr. Edmilson Cesar Bortoletto - Universidade Estadual de Maringá, Brasil.

Prof. Msc. Raphael Magalhães Hoed - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Msc. Eulália Cristina Costa de Carvalho - Universidade Federal do Maranhão, Brasil.

Prof. Msc. Fabiano Roberto Santos de Lima - Centro Universitário Geraldo di Biase, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil.

Prof. Dr. Helder Antônio da Silva, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina de Castro Nadaf Leal - Universidade Estácio de Sá, Brasil.

Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes - Universidade do Vale do Rio do Sino, Brasil.

Prof. Dr. Richard Silva Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Tonani Tolfo - Centro Universitário de Rio Preto, Brasil.

Prof. Dr. André Luís Ribeiro Lacerda - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

Prof. Dr. Wagner Corsino Enedino - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil.

Prof. Dr. José Alberto Yemal - Universidade Paulista, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Estela Sanjuan Montebello - Universidade Federal de São Carlos, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. Msc. Onofre Vargas Júnior - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil.

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**F475p** Figueiredo, Emanuele Rodrigues

Preparação e caracterização de briquetes obtidos da vagem da moringa e do papel celulose / Emanuele Rodrigues Figueiredo. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2020. 24 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: Bibliografia

ISBN: 978-65-86230-26-0

DOI: 10.35587/brj.ed.0000446

1. Energias Renováveis. 2. Biocombustível sólido.  
I. Figueiredo, Emanuele Rodrigues. II. Candeia, Roberlucia Araújo. III. Farias, Emanuel Tarcísio do Rego. IV. Sobrinho, Luiz Gualberto de Andrade. V. Nascimento, Antonio Hugo Costa. VI. Título.

Brazilian Journals Editora  
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil  
[www.brazilianjournals.com.br](http://www.brazilianjournals.com.br)  
[editora@brazilianjournals.com.br](mailto:editora@brazilianjournals.com.br)



Ano 2020



## OS AUTORES

### **Emanuele Rodrigues Figueiredo**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande.  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande.  
Endereço: Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP: 58840-000,  
Pombal (PB), Brasil.  
E-mail: manu1894.ef@gmail.com

### **Roberlucia Araújo Candeia**

Doutora em Química pela Universidade Federal da Paraíba.  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande.  
Endereço: Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP: 58840-000,  
Pombal (PB), Brasil.  
E-mail: roberlucia.araujo@professor.ufcg.edu.br

### **Emanuel Tarcísio do Rego Farias**

Mestre em Sistemas Agroindustriais pela Universidade Federal de Campina Grande.  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande.  
Endereço: Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP: 58840-000,  
Pombal (PB), Brasil.  
E-mail: emanueltarcisio@ccta.ufcg.edu.br

### **Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho**

Doutor em Química pela Universidade São Paulo.  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande.  
Endereço: Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP: 58840-000,  
Pombal (PB), Brasil.  
E-mail: luiz.gualberto@gmail.com

### **Antonio Hugo Costa Nascimento**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande  
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande, UFCG  
Endereço: Campus Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770, CEP: 58840-000,  
Pombal (PB), Brasil  
E-mail: hugocost.eng@gmail.com

## APRESENTAÇÃO

Este E-book trata-se de um trabalho experimental cujo foco principal é o aproveitamento de resíduos lignocelulósicos, e em específico papel celulósico e vagem de moringa, para conversão de energia térmica sob a forma de briquete (biocombustível sólido).

Resumindo a referida obra sabe-se que o Brasil é um país que vem se destacando no desenvolvimento de energias renováveis nos últimos anos. Uma das formas tem sido a utilização de resíduos lignocelulósicos para obtenção de biocombustível sólido. O trabalho buscou investigar formulações a partir de papel celulósico e vagem de moringa descartados no meio ambiente para produção de briquetes, e avaliá-los por meio dos parâmetros físico-químicos e térmicos. Os resíduos caracterizados foram confeccionados em cinco formulações, nas condições de prensagem em 20 ton./kg.força por 10 minutos. As caracterizações foram por parâmetros físico-químicos e térmicos, e os resultados mostraram que a formulação F4, 75 % de vagem de Moringa e 25 % de papel celulósico, apresentou ser mais reativo em virtude do seu maior teor de carbono fixo (18,88 %) e menor teor de materiais voláteis (77,36 %). Diferenciando da formulação F3, 50 % de vagem de moringa e de 50 % papel. Embora os resíduos estudados não tenham apresentados boa eficiência energética (geração de calor), associados a outras matérias primas, estes resíduos podem contribuir com outras propriedades para a briquetagem. Em suma, estas biomassas estudadas possuem potencial promissor ao serem aproveitadas e convertidas em biocombustíveis sólidos, na produção de briquetes, podendo ser considerada lenha ecológica e substituto para a lenha extraída dos recursos naturais

Por fim, os autores, agradecem a todo(a)s que direto e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. E, também ao leitor, que este possa apreciar o desdobramento dessa ideia.

Os autores.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do Campus do CCTA/UFCG em Pombal, PB.....	9
<b>Figura 2</b> - Biomassas antes e após o processo de trituração.....	10
<b>Figura 3</b> - Equipamentos Utilizados na Produção dos briquetes.....	11
<b>Figura 4</b> - Briquetes produzidos correspondendo a cada formulação.....	13
<b>Figura 5</b> - Curvas TG/DTG correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa. A) F1 – 100 % de vagem de Moringa; B) F2 – 100 % de Papel; C) F3 – 50 % de vagem de Moringa e de Papel; D) F4 – 75 % de vagem de Moringa e 25 % de Papel; E) F5 – 25 %.....	16
<b>Figura 6</b> - Curvas DSC correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa. A) F1 – 100 % de vagem de Moringa; B) F2 – 100 % de Papel; C) F3 – 50 % de vagem de Moringa e de Papel; D) F4 – 75 % de vagem de Moringa e 25 % de Papel; E) F5 – 25 % de vagem de Moringa e 75 % de papel.....	18

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Proporção da matéria-prima na composição dos briquetes.....	11
<b>Quadro 2</b> - Parâmetros físico químicos e os métodos adotados.....	12

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Análises físico-químicas, desvio padrão e aplicação do teste de Tukey para as formulações correspondentes aos briquetes de biomassa lignocelulósicas.....	13
<b>Tabela 2</b> - Dados das Curvas TG/DTG correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa (Papel, Casca de Moringa e suas misturas).....	16



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ABRELPE** - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

**ANOVA** - Análise de Variância

**BEP** - Barril equivalente de petróleo

**CCTA** - Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar

**CETENE** - Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

**F1** - Formulação 1

**F2** - Formulação 2

**F3** - Formulação 3

**F4** - Formulação 4

**F5** - Formulação 5

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**LABGEO** - Laboratório de Geoprocessamento

**LABRES** - Laboratório de Resíduos Sólidos

**LQ** - Laboratório de Química

**M** - Moringa

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente

**MME** - Ministério de Minas e Energia

**Mtep** - Milhões de toneladas equivalente de petróleo

**NBR** - Norma Brasileira Regulamentadora

**PNRS** - Política Nacional de Resíduos Sólidos

**PP** - Papel celulósico

**RSU** - Resíduos Sólidos Urbanos

**TG** - Termogravimetria

**DTG** - Termogravimetria Derivada

**DSC** - Calorimetria Exploratória Diferencial

**Tp** - Temperatura Pico

**UFMG** - Universidade Federal de Campina Grande

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
6. CONCLUSÕES .....	18
REFERÊNCIAS.....	20

# 1. INTRODUÇÃO

O uso de alternativas sustentáveis para atender a demanda energética no Brasil é uma realidade que necessita ser desenvolvida e colocada em prática em caráter de urgência, já que a queima de combustíveis fósseis, principal fonte de energia não só no Brasil, como também em todo o mundo, contribui com a degradação ambiental (NUNES, 2017).

As preocupações com o meio ambiente impõem novas estratégias de vida, em virtude de uma série de problemas globais, tais como: contaminação e degradação do meio ambiente, a crise em torno dos recursos naturais energéticos e de alimentos (BILGEN, 2014).

O desequilíbrio gerado pela utilização de recursos não renováveis atinge dimensões não só a nível global, como também em níveis locais, sendo dever de todas as esferas a preocupação com a forma de utilização dos recursos energéticos. Apesar da principal fonte de energia no mundo advir desses meios, há uma projeção, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2008), de uma queda de 9,4 % na utilização de petróleo e derivados do ano de 2007 para 2030 e uma evolução da oferta de energia elétrica de 0,2 % oriunda da biomassa.

Devido à capacidade de renovabilidade da biomassa, acredita-se que a combustão de biocombustíveis não contribui para o efeito estufa, graças à conversão neutra de CO<sub>2</sub>. A bioenergia acaba sendo uma alternativa à energia fóssil, visto que tem se destacado como importante fator para proteção ambiental no século XXI (VASSILEV *et al.*, 2017).

A biomassa lignocelulósica é considerada um recurso renovável de relevância potencial para geração de energia, em virtude de sua utilização ser uma opção de diminuir os impactos ambientais negativos gerados pelos combustíveis fósseis (MARAFON *et al.*, 2016). No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas, EPE, (2017), a biomassa da cana corresponde à 16,9 %, hidráulica 11,3 %, lenha e carvão 8,2 % lixo e outras renováveis 4,7 %.

Dentre as fontes energéticas renováveis produzidas e consumidas a nível mundial, e em específico no Brasil, a biomassa, oriunda de materiais orgânicos tais como: resíduos energéticos das florestas (madeira), da agricultura (resíduos vegetais da colheita, como galhos, palhas, cascas), pecuária (estrupe), ou efluentes urbanos

e industriais, destacam-se entre as demais alternativas energéticas, a exemplo da eólica e solar, por apresentar baixo custo tecnológico e maior disponibilidade potencial em todas as regiões brasileiras, favorecida pelas condições climáticas (TOLMAQUIM, 2016).

No Brasil, boa parte dos resíduos sólidos é destinada de forma incorreta e sem planejamento, podendo ser aproveitados para diversos fins, a exemplo da cogeração de energia (GOLDEMBERG, 2017). O relatório Panorâmico da ABRELPE (2018), relata que “houve crescimento de uso de lixões de 3 % de 2016 para 2017, passando de 1.559 a 1.610 o número de cidades que fazem uso desse expediente para destinação final.”

Uma das alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos lignocelulósicos com viés energético é a produção de pellets e briquetes. Estes são formados pela compactação da biomassa por meio de pressão, com ou sem aglutinante (SANTOS, 2018). Segundo Nakashima *et al.*, (2014), “Qualquer resíduo vegetal, a exemplo, do papel celulose, bagaço de cana de açúcar, podas de árvores, cascas e/ou vagem de vegetais entre outros, podem ser compactados, desde que se determinem e mantenham as condições apropriadas de umidade e granulometria destes materiais”.

Este trabalho fundamentou-se em investigar o comportamento de briquetes, constituídos a partir de misturas de resíduos lignocelulósicos, vagem de moringa e papel celulose, que foram descartados no meio ambiente, com finalidade de se obter melhor composição de um produto energético sustentável e alternativo à lenha.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Investigar formulações a partir de resíduos lignocelulósicos, papel celulósico e vagem de moringa, para produção de biocombustíveis sólidos, e avaliá-los por meio dos parâmetros físico-químicos e térmicos.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Produzir formulações de briquetes compostos por papel celulósico (reciclável) e vagem de moringa; Caracterizar os briquetes formulados através de parâmetros físico-químicos e térmicos.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a NBR 10.004/04, resíduos sólidos são definidos como “resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

Moh e Manaf (2014) reforçam a complexidade do tema “resíduo sólido urbano (RSU)”, e argumenta sobre a necessidade de políticas públicas segundo um novo paradigma, ao verificarem que trata de um dos principais problemas urbanos, considerando as limitações de espaços, saúde e questões ambientais. O crescente aumento da população, atrelado a falta de gestão dos municípios e a ausência de consciência ambiental por boa parte da população, são fatores que corroboram com a geração de resíduos nas cidades.

Durante os processos de transformação dos recursos naturais e, principalmente, após o uso do produto final, são gerados maiores quantidades de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos que por muitas vezes recebem destinação e disposição finais inadequadas, poluindo ou contaminando o solo, o ar e a água, além de proliferar vetores de doenças (FERNANDES, 2016).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, s/n) aponta que a procura por alternativas referentes aos resíduos reflete uma demanda da sociedade que pressiona por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Os resíduos possuem valor comercial quando são manejados adequadamente, podendo resultar em novas formas de utilização.

#### 3.1.1 RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Cardono *et al.*, (2010) consideram que os resíduos lignocelulósicos representam, aproximadamente, 60 % da biomassa vegetal e que podem ser divididos em grupos de: resíduos de colheitas (bagaço de cana, palha de milho etc.), madeira de lei (álamo alpino e álamo), madeira de conífera (pinheiro e abeto), resíduos celulósicos (lodo de papel e papel reciclado, jornais etc.), biomassas herbáceas (feno de alfafa, caniço-malhado etc.) e resíduos sólidos municipais (poda de árvores).

Cerca de 90 % do material lignocelulósico é composto por celulose, hemicelulose e lignina, sendo considerado um recurso biológico renovável, com potencial para geração de calor/combustível (RUEDA, 2010; WANG *et al.*, 2017).



### 3.1.1.1 MORINGA OLEÍFERA

*Moringa oleífera Lam* é uma planta pertencente à família (*Moringaceae*), e composta por apenas um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas, nativa do Nordeste da Índia, é cultivada por vários povos do Oriente, por seu alto valor alimentar, medicinal, industrial e aplicabilidade no tratamento de águas para o consumo humano (RASHID *et al.*, 2008). Trata-se de uma espécie perene com demanda relativamente baixa de nutrientes e água, sendo uma cultura facilmente explorável (PALIWAL, SHARMA, PRACHETA, 2011; PEREIRA *et al.*, 2016), e tolerante a seca (HDRA, 2002).

Tem-se estudado o uso da *Moringa* na área de bioenergia através do seu óleo, cascas e vagens para conversão de biocombustíveis líquidos (biodiesel) e sólidos (briquete) (PEREIRA, 2015; BITÚ, 2018).

### 3.1.1.2 PAPEL CELULÓSICO

Segundo o AgriWorld (2018), o ano de 2017 foi de variação positiva para a produção no setor de celulose, que avançou 3,8 %. Destaque para as 19,5 milhões de toneladas produzidas, o maior volume já registrado no período de um ano. Papel, por sua vez, com 10,5 milhões de toneladas produzidas, teve alta de 1,4 %, em comparação com 2016.

Schneider e Mühlen (2011) argumentam que “o Brasil recicla 3 milhões de toneladas de papel por ano, o que corresponde a 44,7 % do consumo aparente nacional. Porém, o resíduo gerado após o processo de reciclagem de papel ainda é um problema que não possui solução efetiva e implementada”.

Segundo Freitas e Filho (2009), nos últimos anos, a reciclagem de papel tornou-se uma atividade economicamente interessante que diminui o consumo de recursos naturais não renováveis e impede seu acúmulo em aterros sanitários.

## 3.2 A BIOMASSA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

Existem processos tecnológicos que visam o aproveitamento da biomassa, resultando na geração de calor e energia elétrica ou mecânica, a partir da conversão de biocombustíveis sólidos tais como: briquetes e pellets; líquidos como etanol e biodiesel; ou gasosos - a exemplo do biogás e gás de síntese, podendo ser empregados de diversas maneiras para suprir as necessidades das atividades humanas (SAWIN *et al.*, 2012).

A biomassa contribuiu recentemente com 15 % da energia mundial e estima-se que até 2050, de 33 a 50 % dos atuais consumos, esta fonte de matéria prima de energia primária pode ser elevada (VASSILEV *et al.*, 2017).

Resíduos e coprodutos de cadeias como a do etanol, biodiesel e florestas foram avaliados quanto ao seu potencial econômico, de modo a apresentar um panorama atual de perspectivas e de desafios a serem superados para sua incorporação à crescente economia verde nacional, além da sua contribuição para o desenvolvimento de uma química renovável e sustentável (VAZ JUNIOR, 2012).

Werther *et al.*, (2000) relatam que as biomassas com alto potencial energético incluem os resíduos agrícolas e os oriundos de atividades florestais, com potencial energético de 33 % e 65 %, respectivamente.

O MME (2018) publicou que a oferta de bioenergia na matriz brasileira em 2017 foi de 87,9 Mtep (1.708 mil bep/dia), proporcional a 30 % referente a 2015. E, quanto à biomassa, o bagaço da cana de açúcar e etanol, respondeu por 58,1 % da bioenergia e 17,4 % de toda a matriz energética, enquanto que a lenha contribuiu com 26,6 % da bioenergia e 8 % da matriz. Outras fontes de bioenergia (lixívia, biogás, resíduos de madeira, resíduos da agroindústria e biodiesel), com 13,4 Mtep, responderam por 15,2 % da bioenergia e por 4,6 % da matriz.

### 3.3 BRIQUETES

A Brasil Biomassa e Energia Renovável - BBER (2009) define o briquete como lenha ecológica (reciclada), sendo o resultado do processo de secagem e prensagem de serragem ou pó dos mais diversos tipos de madeira e de resíduos florestais e industriais. Este produto é adequado para uso em caldeiras industriais, como na substituição da lenha comum, do óleo combustível e do gás natural, sendo eficiente ao processo de queima.

Os briquetes podem dar um destino viável, econômica e ambientalmente, aos resíduos lignocelulósicos. Além de terem formato regular e constituição homogênea, resultando em queima uniforme do material, são de fácil manuseio e transporte, de baixa umidade e têm maior densidade energética (PAULA, 2014).

Por possuir excelentes propriedades caloríficas, a partir de resíduos lignocelulósicos, com tecnologia simples e investimentos baixos, o briquete é uma excelente fonte de energia, podendo, muitas vezes, substituir os combustíveis atualmente em uso com vantagens operacionais, logísticas, econômicas e ambientais (BARROS, 2012).

Atrelada a maior produção de resíduos (florestal ou agrícola) deve haver avanços na tecnologia de sua transformação em um produto comercializável, no caso do briquete ou do pellet. Além de avanços na qualidade do produto final como forma para atender as exigências do mercado. Assim, nas pesquisas é necessário investigar todas as possibilidades, por exemplo, de misturas de resíduos, com o intuito de produzir briquetes de alta qualidade (VALE, 2017).

### 3.3.1 PROCESSO DE BRIQUETAGEM

No processo de briquetagem, as partículas de biomassa são compactadas utilizando-se temperatura e pressão. A elevação da temperatura faz com que os componentes como a lignina, as proteínas e o amido se tornem plásticos e atuem como ligantes naturais na compactação, justificando a não utilização de aglomerantes artificiais (PAULA, 2014).

Carvalho, Brinck e Campos (2018) abordam que no processo de aglomeração de partículas finas em prensas, as forças de atração molecular de Van der Waals apresentam forte influência na união das partículas. Entretanto, somente tornam-se efetivas quando a distância entre as partículas é reduzida pela ação de uma força externa elevada.

No processo de briquetagem ocorre a redução de volume da matéria prima que está sendo compactada, assim como promove a estabilidade das misturas durante o manuseio, elimina/reduz problemas de poeira, controla a dureza, reduz os custos de embalagem, armazenamento e transporte e melhora o desempenho do produto (FEECO INTERNATIONAL, 2018).

De acordo com Quirino e Brito (1991), a briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa, e, portanto, a exemplifica considerando que “1,00 m<sup>3</sup> de briquetes contém pelo menos 5 vezes mais energia que 1,00 m<sup>3</sup> de resíduos, levando-se em consideração a densidade a granel e o poder calorífico médio destes materiais”.

#### 3.3.1.2 FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE BRIQUETAGEM

**a) Teor de Umidade:** Dependendo do tipo de matéria-prima e do processo de compactação existe uma faixa de teor de umidade na qual o material pode ser briquetado adequadamente. Umidade em excesso pode provocar explosões devido à formação de vapor, em contrapartida a matéria-prima muito seca dificulta os mecanismos de ligação entre as partículas. Diversos estudos recomendam que o valor ótimo de umidade deve estar entre 5 e 10 % (EMBRAPA, 2012).

Quirino (2003) cita que:

A umidade influencia de forma negativa, devido reduzir a quantidade de energia global produzida durante a combustão. Uma parte da energia contida nos resíduos é utilizada para aquecer e vaporizar essa umidade. São necessárias 580 cal para evapora 1 g de água. Se a água estiver fortemente ligada à madeira, é necessária mais energia para deslocar essa umidade.

Enquanto que Rodrigues (2010) infere que “os briquetes com teor de umidade acima de 15 % podem ter sua eficiência de queima comprometida pelo fato da relação entre poder calorífico e umidade”.

**b) Tamanho das partículas:** Carvalho e Brinck (2004) recomendam o tamanho da partícula entre 5 e 10 mm. Para Ginâni (2013), a qualidade da compactação está relacionada ao tamanho da partícula, pois, quanto menor o tamanho melhor será a compactação, e, portanto, menores dimensões abrangem uma área maior de superfície e, melhor interação. Borghi (2012) diz que o tamanho das partículas da biomassa influencia as propriedades físico-químicas dos briquetes.

**c) Temperatura e Pressão:** A temperatura e pressão são parâmetros importantes durante o processo de briquetagem. Por sua vez, a temperatura de compactação exerce função relevante nas propriedades finais do produto e no consumo energético durante a compactação. Pois, os materiais são transformados em produtos mais estáveis quando aquecidos. Alguns estudos mostram que a temperatura máxima não deve ultrapassar 220 °C, a depender da matéria-prima, pré-tratamento, tempo e teor de água; E, a pressão, por meio de equipamentos de compactação nas partículas da biomassa, favorece diferentes mecanismos de ligação, que é o caso dos ligantes naturais que, em altas pressões, são extraídos das células vegetais, contribuindo assim para a interligação e coesão das partículas (DIAS, 2012).

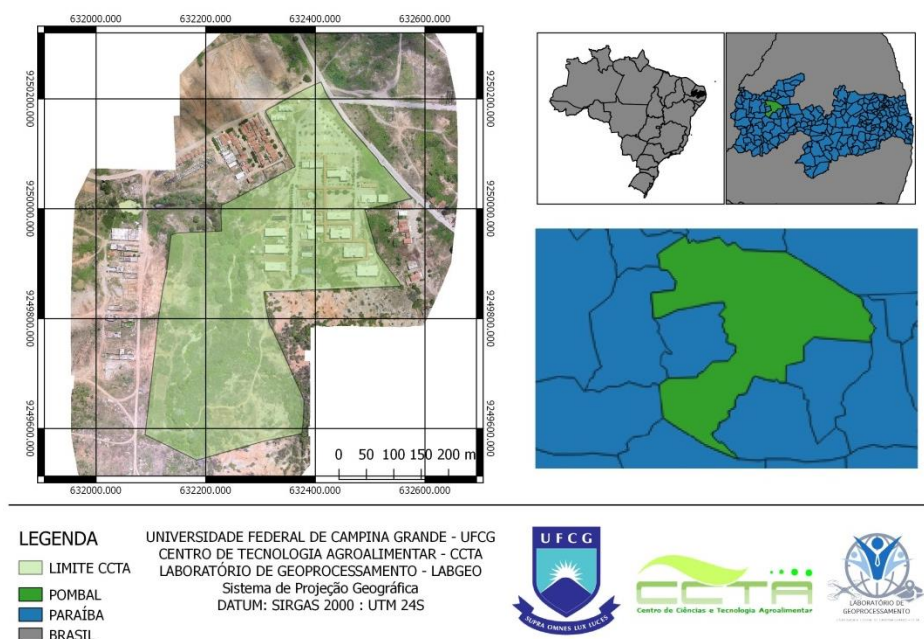
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa teve caráter experimental, com procedimentos descritivo e explicativo, buscando compreender a melhor formulação de briquetes a partir de biomassa lignocelulósica (LAKATOS; MARCONI, 2007).

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Pombal, PB, (Figura 1), está localizado no sertão paraibano, sendo considerada a quarta cidade mais antiga do estado da Paraíba e o primeiro núcleo de habitação do sertão paraibano. Territorialmente, possui 889 km<sup>2</sup>, representando 1,58 % da superfície total do Estado. Possui uma população de 32.443 habitantes, de acordo com o censo do IBGE, em 2010. Está situado a 184 m de altitude, tendo como coordenadas geográficas: Latitude: 39.9138, latitude 6° 45' 50.09" Sul e longitude 37° 48' 13.94" Oeste.

Figura 1. Mapa de localização do Campus do CCTA/UFCEG em Pombal, PB



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento, adaptada pela autora, 2018.

Apresenta limites geopolíticos com os seguintes municípios: ao Norte, Lagoa e Paulista, ao Sul, Coremas, Cajazeirinhas e São José da Lagoa Tapada, ao Leste, São Bentinho e Condado e a Oeste São Domingos de Pombal, Aparecida-PB, São Francisco e Santa Cruz. O acesso ao município de Pombal – PB, a partir da capital

João Pessoa é feito através da rodovia federal BR – 230, sendo que o município também é cortado por outra rodovia federal, a BR- 427 (CPRM, 2005).

As biomassas, vagem da moringa e papel celulósico, foram coletadas no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal-PB (Figura 1), no mês de Agosto de 2018, época com ausência de precipitação. Sendo importante salientar que as biomassas trabalhadas eram resíduos descartados no meio ambiente, sendo as vagens coletadas no pátio do campus em estado seco, e os papéis nos pontos de coleta seletiva, distribuídos ao longo dos corredores do Campus do CCTA Pombal, PB.

Os briquetes foram produzidos, em escala de bancada, no Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES), enquanto que as análises físico-químicas e térmicas foram realizadas no Laboratório de Química (LQ) do CCTA/UFCG e no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) em Recife – PE, respectivamente.

#### 4.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

As vagens da moringa e os papéis celulósicos foram, inicialmente, triturados para alcançar granulometria mais próximo da desejada, conforme visualizadas na Figura 2 (A - D).

**Figura 2.** Biomassas antes e após o processo de trituração.



(A) Vagens de moringas



(B) Vagens de moringas trituradas



(C) Papéis celulósicos



(D) Papéis celulósicos triturados

Fonte: Arquivo Pessoal (2018).



Posteriormente, a biomassa triturada foi peneirada, e, para isso, utilizou-se peneiras de 14 ABNT/Tyler e 8 ABNT/Tyler para uniformizar as amostras, estando, dessa forma, prontas para produção dos briquetes. Como os materiais já se encontravam com baixa umidade não houve necessidade de submetê-los ao processo de secagem.

### 4.3 PREPARAÇÃO DOS BRIQUETES

Após o processo de trituração das matérias-primas, as biomassas lignocelulósicas foram compactadas, sem adição de aglutinantes, por prensa hidráulica da marca MARCON com capacidade para 100 ton./kg.força (Figura 3a), em uma matriz confeccionada em aço carbono com as seguintes dimensões: espessura da chapa 4 mm, comprimento 25 cm, diâmetro 5 cm e um socador para compactar a biomassa utilizada para produzir os briquetes (Figura 3b).

**Figura 3.** Equipamentos Utilizados na Produção dos briquetes



(A) Prensa Hidráulica



(B) Matriz

Fonte: Arquivo Pessoal (2018).

A produção dos briquetes foi administrada a partir das seguintes proporções de biomassa, conforme ilustrada no Quadro 1, a saber:

**Quadro 1.** Proporção da matéria-prima na composição dos briquetes

Formulações	Biomassa Lignocelulósica	
	Proporção de Vagem da Moringa	Proporção de Papel celulósico
1	100 %	-
2	-	100 %
3	50 %	50 %
4	75 %	25 %
5	25 %	75 %

Fonte: Os autores.

Estes foram prensados a 20 ton./kg.força, por 10 minutos. Logo após, foram caracterizados por parâmetros físico-químicos e térmicos.

#### 4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

##### 4.4.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA

As análises de caracterização físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Química (LQ/CCTA/UFCG), as quais seguiram os parâmetros e métodos, descritos no Quadro 2:

**Quadro 2.** Parâmetros físico-químicos e os métodos adotados.

Parâmetros	Métodos
Teor de Umidade	NBR 8293 da ABNT
Teor de Voláteis	NBR 8112 da ABNT
Teor de Cinzas	
Teor de Carbono fixo	
Teor de Combustível	Metodologia de Gomes (1980) e Gonçalves, Sartori e Leão (2009)

Fonte: A autora.

##### 4.4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados dos parâmetros físico-químicos obtidos dos briquetes foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ) com nível de confiabilidade de 95 %, utilizando o programa SISVAR, atualização 5.4.

##### 4.4.3 ANÁLISES TÉRMICAS

As curvas termogravimétricas (TG/DTG) foram obtidas no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste, CETENE, em Recife-PE. O equipamento foi um analisador térmico, marca TGA50, sob condições de análise: dinâmica, cadinho de alumina, 10 mg da amostra, atmosfera de nitrogênio com vazão de 50 mL.min<sup>-1</sup>, razão de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, no intervalo de temperatura de 25 a 800 °C.

A Calorimetria diferencial de varredura (DSC) foi realizada em instrumento da NETZSH5, modelo Jupiter STA449F3, com amostras de 10 mg, intervalo de 25 a 600 °C, e taxa de 10 °C.min<sup>-1</sup> com fluxo de 20 mL. min<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub>.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 OBTENÇÃO DOS BRIQUETES

Os briquetes produzidos neste trabalho são visualizados na Figura 4. Os resíduos foram compactados em granulometria de 1,19 mm. As partículas aglutinaram e não apresentaram fissuras, o que representa boa briquetagem, pois, aglutinaram-se perfeitamente (não se fragmentaram).

Figura 4. Briquetes produzidos correspondendo a cada formulação.



**Legenda:** F1 – 100 % de Vagem de Moringa; F2 – 100 % de Papel; F3 – 50 % de Vagem de Moringa e de Papel; F4 – 75 % de Vagem de Moringa e 25 % de Papel; F5 – 25 % de Vagem de Moringa e 75 % de Papel.

Fonte: Autoria Própria (2018).

### 5.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

A Tabela 1 expõe os resultados obtidos do estudo físico-químico dos briquetes compostos por resíduos lignocelulósicos tais como: 100 % de vagem de Moringa (F1); 100 % de Papel (F2); 50 % de Vagem de Moringa e de Papel (F3); 75 % de Vagem de Moringa e 25 % de Papel (F4); 25 % de Vagem de Moringa e 75 % de Papel (F5).

**Tabela 1.** Análises físico-químicas, desvio padrão e aplicação do teste de Tukey para as formulações correspondentes aos briquetes de biomassa lignocelulósicas.

PARÂMETROS	FORMULAÇÕES				
	F1	F2	F3	F4	F5
Umidade %	6,03c ± 0,20	5,77d ± 0,08	5,61e ± 0,08	7,65a ± 0,06	7,23b ± 0,04
Cinzas %	4,73b ± 0,15	3,50e ± 0,41	8,91a ± 0,28	3,76d ± 0,33	4,14c ± 0,20
Materiais voláteis %	77,32e ± 0,6	79,86a ± 0,15	79,31c ± 0,32	77,36d ± 0,06	79,43b ± 0,28
Carbono fixo %	17,95b ± 0,31	16,64c ± 0,29	11,78e ± 0,19	18,88a ± 0,18	16,42d ± 0,30
Combustível %	1,48a ± 0,03	1,11c ± 0,09	0,76e ± 0,06	1,25b ± 0,44	0,90d ± 0,20

**Legenda:** F1 – 100 % de Vagem de Moringa; F2 – 100 % de Papel; F3 – 50 % de Vagem de Moringa e de Papel; F4 – 75 % de Vagem de Moringa e 25 % de Papel; F5 – 25 % de Vagem de Moringa e 75 % de Papel teste de Tukey - as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de probabilidade. Fonte: A autora.

Ao observar os dados expostos na Tabela 1, para os valores médios de umidade, verifica-se que os briquetes de menor e maior umidade são, respectivamente, F3 e F4, constituídos de 50 % vagem de moringa e de papel, e pela mistura de 25 % papel e 75 % vagem de moringa.

Apesar da umidade não está entre a faixa 8 e 12 % recomendado por Quirino (2002), ocorreu a briquetagem de todos as formulações, com ausência de fissuras, em virtude do tipo da matéria prima trabalhada nesta pesquisa. Já com relação à quantidade de umidade do papel, a porcentagem varia de acordo com a qualidade da pasta utilizada na fabricação do briquete, podendo variar entre 5 a 10 %. Fora desse intervalo, a resistência do papel diminui (JORGE, 2013).

De acordo com Rodrigues (2010) e Dias *et al.*, (2012). Yamaji *et al.*, (2013), os briquetes que apresentam umidade entre 10 a 15 % são considerados satisfatórios, e não comprometem a sua eficiência na estabilidade, mas acima de 15 % sua eficiência de queima é comprometida, ao relacionar o poder calorífico e a umidade, bem como a sua estabilidade. E, por outro lado, o briquete pode se tornar quebradiço durante o transporte e armazenamento se a umidade for inferior a 5 %, segundo Petricoski (2017) e Gonçalves, Sartori e Leão (2009).

Entre as composições, o menor e maior teor de cinzas foi encontrado nas formulações F2 e F3, respectivamente. Carvalho (2010) afirma que um bom sólido deve conter um teor de cinzas inferior a 3 %. A formulação que mais se aproximou dessa realidade foi a F2 com 3,5 %. Vale *et al.*, (2012) enfatizam que os teores de cinzas de resíduos agrícolas são elevados (neste estudo por exemplo, a vagem da Moringa), devido à presença de maior concentração de substâncias inorgânicas, quando comparados com a madeira, principalmente, madeira de eucalipto que tem teores inferiores a 1 %.

Moers *et al.*, (2011) e Maia (2013) afirmam que a cinza residual é indesejável, e quando em alta concentração, reduz o poder calorífico, afetando no processo de transferência de calor. Logo, associando os parâmetros de cinzas com o de combustível de acordo com Gonçalves, Sartori e Leão (2009), confirmar-se que nas amostras F3 e F1, as concentrações de materiais inertes (que não produz calor), e com potencial de geração de calor, respectivamente estão presentes em ambas as formulações em maior quantidade em relação às demais.

Os valores obtidos em cada formulação para o teor de combustível (Tabela 1) foram bastante inferiores para se obter briquetes com composição da matéria prima

que tenha melhor geração de calor, sem maior concentração de cinzas residual. Este fato, também pode ser corroborado com a Figura 5 e Tabela 2 do estudo térmico, tendo em vista a quantidade resultante das cinzas residuais obtidas em cada formulação.

No que concerne à formulação com maior teor de materiais voláteis foi F2, seguida de F5. Altos teores deste parâmetro tendem a aumentar a inflamabilidade do resíduo, ou seja, ser mais reativo ao incendiar e queimar (VIEIRA, 2012). Dessa forma, as formulações que contribuem para sua redução são os compostos formados maiores concentrações de vagem moringa na formulação do briquete. A variação obtida entre as formulações propostas foram 79,86 a 77,32 %.

O teor de carbono fixo representa o resíduo inorgânico da massa após a liberação dos materiais voláteis, retirando os teores de cinzas e de umidade. Os briquetes com elevados valores de carbono fixo e baixa umidade são os ideais, em virtude do melhor desempenho com a produção de calor por unidade de massa (MAROZZI, 2012).

As formulações que apresentaram menor e maior teor de carbono fixo, respectivamente, foram F3 e F4. E, ao confrontar com os parâmetros de materiais voláteis, estes valores são inversamente proporcionais aos carbonos fixos, corroborando com Brand (2010), no qual argumenta que combustíveis com potencial de queima lento possuem altos teores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis. Isso quer dizer que ficarão mais tempo para sua queima total ao comparar com combustíveis que possuam baixo índice de carbono fixo.

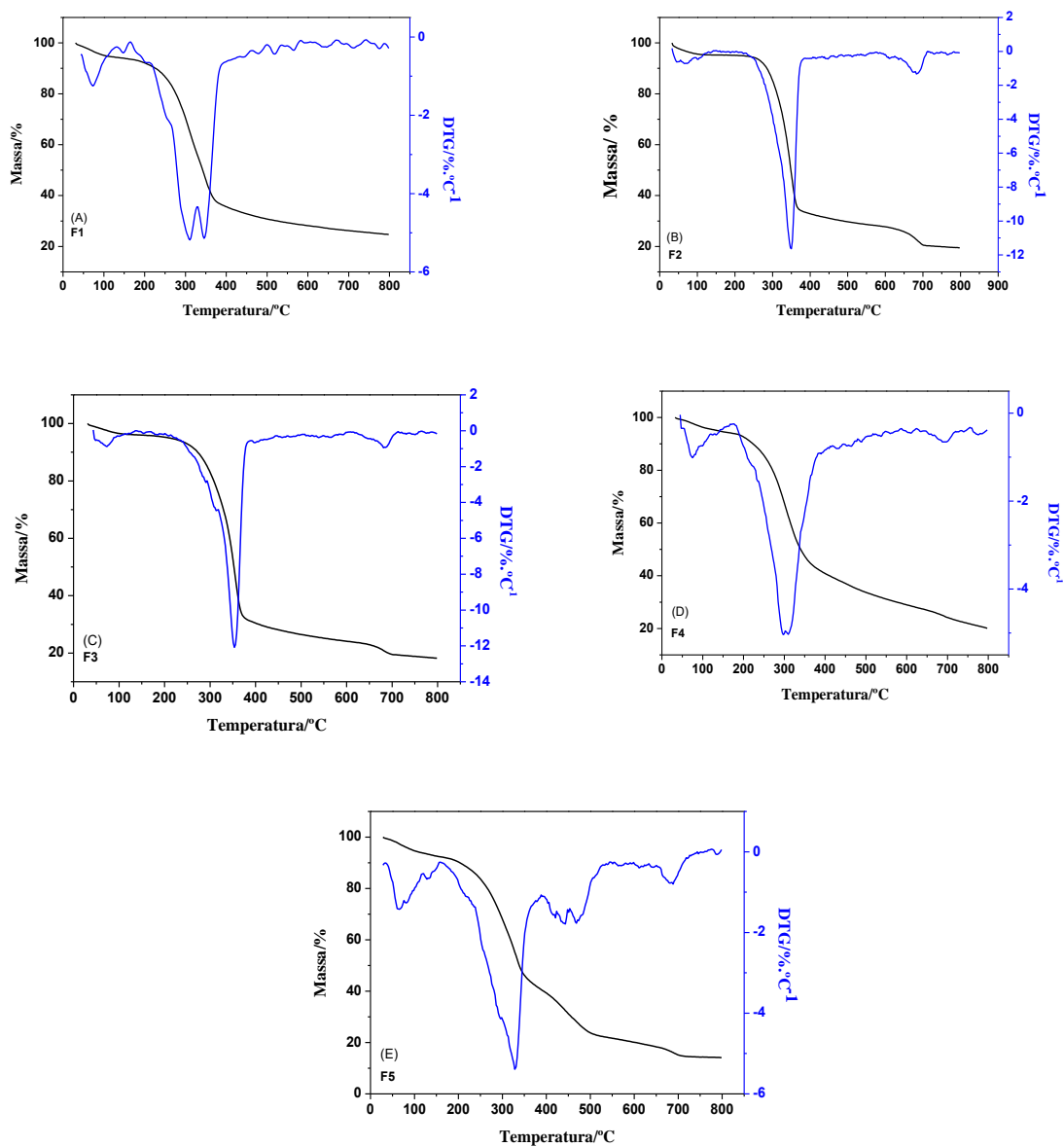
Estatisticamente houve diferença significativa entre as médias, em todos os parâmetros, ao nível de 5 %, pelo teste de Tukey, apresentado na Tabela 1. Os baixos valores de desvios padrões mostraram a homogeneidade entre as triplicatas para todos os parâmetros.

### 5.3 PERFIL TÉRMICO

#### 5.3.1 TERMOGRAVIMETRIA (TG)

As curvas TG/DTG referentes aos briquetes seguem apresentadas na Figura 5 (A-E). Enquanto que na Tabela 2, visualizam-se os dados analisados correspondentes aos intervalos de temperaturas, suas respectivas perdas de massas e as temperaturas máximas de pico referente ao DTG.

**Figura 5.** Curvas TG/DTG correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa. A) F1 – 100 % de vagem de Moringa; B) F2 – 100 % de Papel; C) F3 – 50 % de vagem de Moringa e de Papel; D) F4 – 75 % de vagem de Moringa e 25 % de Papel; E) F5 – 25 %



Fonte: A autora.



**Tabela 2.** Dados das Curvas TG/DTG correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa (Papel celulose, vagem de Moringa e suas misturas).

Amostras	Etapas	Intervalo de Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)	Resíduo (%)	DTG Tp (°C)
F1	1	33 – 160	6,4	24,8	74
	2	160 – 383	56,7		309
	3	383 – 800	12,1		348
F2	1	32 – 150	5	20,3	67
	2	150 – 380	61,2		348
	3	380 - 707	13,5		686
F3	1	33 – 130	5	18,4	74
	2	130 – 385	64,3		354
	3	385 – 700	11,9		685
F4	1	32 – 150	6,1	20,3	73
	2	150 – 389	52,2		300
	3	389 - 800	21,4		774
F5	1	31 – 142	7	14,9	63
	2	142 – 353	47,1		328
	3	353 – 501	21,8		451
	4	501 - 725	9,2		684

**Legenda:** F1 – 100 % de vagem de Moringa; F2 – 100 % de Papel; F3 – 50 % de vagem de Moringa e de Papel; F4 – 75 % de vagem de Moringa e 25 % de Papel; F5 – 25 % de vagem de Moringa e 75 % de Papel; Tp - Temperatura de pico.

Fonte: A autora.

Analisando o conjunto de Figuras 6 (A-E), é possível visualizar e inferir que todas as curvas de TG/DTG assumem perfil de decomposição e/ou volatilização dos componentes de suas respectivas biomassas lignocelulósicas. Sendo que, as formulações F1 a F4 ocorrem em três etapas de decomposição térmica, enquanto a F5 (25 % de vagem de Moringa e 75 % de papel) se desdobrou em quatro etapas térmicas.

As primeiras etapas térmicas conforme apresentadas na Tabela 2, com intervalo de temperatura inferior a 160 °C são atribuídas à água/ umidade da biomassa lignocelulósica, e obtiveram variações de perda de massas em torno de 5 a 7 %. Nas segundas etapas, constatam-se maior variação de perda de massa em torno de 47,1 a 64,3 %, sendo associadas à decomposição de carboidratos, hemicelulose e celulose, no intervalo de 150 a 389 °C. Já, as terceiras etapas referem-se à degradação contínua da lignina. E, ao final de cada processo ocorre a formação de resíduos, carvão e cinzas.

As atribuições quanto ao que se sugere ter sido liberado como substância durante as etapas térmicas referentes aos materiais lignocelulósicos (vagem de Moringa, papel e suas misturas) corroboram com os estudos de Pollard, Thompson,

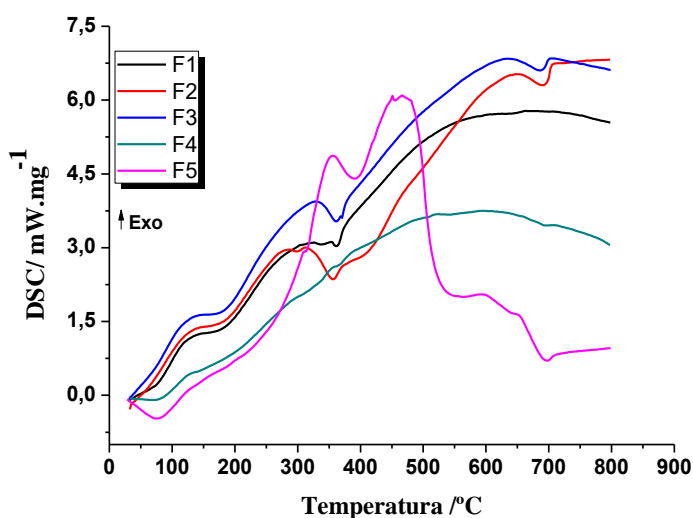
McConnachie (1995), com carvões ativados produzidos a partir de cascas de sementes de Moringa oleifera Lam., e que na análise térmica mostra perda de umidade até 180 °C, degradação de hemicelulose (180 a 290 °C), degradação da celulose (290 e 370 °C), degradação da lignina (> 370 °C) e liberação de alcatrões (> 500 °C). Burhenne et. al (2013) e Rambo et al. (2015) avaliando o comportamento térmico de biomassas lignocelulósicas utilizando a termogravimetria e a termogravimetria derivada relatam a presença de constituintes químicos, tais como hemicelulose (290 - 324 °C), celulose (336 - 406 °C) e lignina (acima de 400 °C).

Nas curvas de DTG (Figura 6) pode ser visualizado, nitidamente, na segunda etapa térmica o pico de decomposição máxima em torno da temperatura onset 300 °C e 354 °C, correspondente as maiores perda de massas atribuídas aos compostos de carboidratos hemicelulose e celulose.

### 5.3.2 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As curvas referentes à Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) dos briquetes formulados seguem ilustradas na Figura 6, com o objetivo de conhecer as transições físicas e/ou químicas ocorridas durante o processo de decomposição.

**Figura 6.** Curvas DSC correspondentes à constituição de briquetes a partir de resíduos de biomassa. A) F1 – 100 % de vagem de Moringa; B) F2 – 100 % de Papel; C) F3 – 50 % de vagem de Moringa e de Papel; D) F4 – 75 % de vagem de Moringa e 25 % de Papel; E) F5 – 25 % de vagem de Moringa e 75 % de papel.



Fonte: A autora.

## 6. CONCLUSÕES

A partir das formulações propostas para a produção de briquetes neste trabalho, observou-se que entre as análises, a formulação F4 (75 % de vagem de Moringa e 25 % de papel celulósico), apresentou ser mais reativo quanto ao poder de queima, uma vez que obtém maior concentração de carbono fixo e menor materiais voláteis.

Os briquetes formulados a partir das biomassas lignocelulósicas, vagem da moringa e do papel celulósico, em diferentes proporções, possuem potencial promissor ao serem aproveitados e convertidos em biocombustíveis sólidos. Para tanto, os resultados mostraram que embora não tenham apresentada eficiência energética (geração de calor) satisfatória, associados a outras matérias primas, os resíduos lignocelulósicos estudados podem contribuir para outras propriedades como a compactação e briquetagem.

Desta forma, contribuem, de forma benéfica, nos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Sendo, este último para promover medidas mitigadoras que aproveitem resíduos lignocelulósicos dispostos de forma inadequada no meio ambiente (lixões), evitar o desmatamento excessivo (lenha).

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2017**. Ed. Especial. 15 anos. Setembro. 2018. Disponível no site: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acesso em nov 2018.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004/2004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a. Disponível em: <[http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT\\_NBR\\_n\\_10004\\_2004.pdf](http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf)>. Acesso em 13 jul. 2018.
- AGRIWORLD. **Setor florestal fecha 2017 com superávit de US\$ 7,5 bilhões**. 2018. Disponível em: < <http://www.agriworld-revista.com/2018/01/31/setor-florestal-fecha-2017-com-superavit-de-us-75-bilhoes/>>. Acesso em 16 nov. 2018.
- BARROS, L de O. **Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas**. 2010. 46. Tese (doutorado em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2010.
- BBER - Brasil Biomassa e Energia Renovável. Energia Renovável. 2009. Disponível em: <<http://www.biomassabr.com/bio/resultadonoticias.asp?id=2879>>. Acesso em: <[www.faostat.org/family-farming-2014/pt/](http://www.faostat.org/family-farming-2014/pt/)>. 12 jul. de 2018.
- BILGEN, S. Structure and environmental impact of global energy consumption. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 38, p.890-902, 2014.
- BITU, S. G. **Biodiesel de *Moringa oleifera* Lam e seus Ecodieseis: Análise da eficiência no processo de armazenagem**. 2018. 45p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais), PPGSA. Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB.
- BORGHI, M. da M. **Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes**. 2012. 47f. Monografia (Departamento de Ciências Florestais e da Madeira), Universidade Federal do Espírito Santo, Graduação em Engenharia Industrial da Madeira, Espírito Santo, 2012.
- BURHENNE, L.; MESSMER, J.; AICHER, T.; LABORIE, M. The effect of the biomass components lignin, cellulose and hemicellulose on TGA and fixed bed pyrolysis. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.101, p. 177–184, 2013.
- Cardona CA, Quintero, JA, Paz IC. Production of bioethanol from the sugar cane bagasse: Status and Perspectives. *Bioresource Technology*. 2010;101:4754-60.
- CARVALHO, E. A.; BRINCK, V. **Briquetagem**. Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia- CETEM, Comunicação Técnica elaborada para a 4 a Ed. Tratamento de Minérios, p. 613 a 636, Rio de Janeiro, 2004.
- CARVALHO, E. A.; BRINCK, V.; CAMPOS, A. R. **Aglomerção: Briquetagem**. In: Tratamento de Minérios. 6ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018, Cap. 15.1, p. 651-574. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2184>. Acesso em Nov 2018.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Pombal, estado da Paraíba/ Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, FRANKLIN DE MORAIS, VANILDO ALMEIDA MENDES, JORGE LUIZ FORTUNATO DE MIRANDA. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DIAS, M. C. S. D; SOUZA, D. T; BRAGA, M; ONOYOMA, M. M; MIRANDA, C. H. B; BARBOSA, P. F. D; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais** – Brasília, DF: EMBRAPA AGROENERGIA, 2012.

EMBRAPA. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em nov.2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano base 2016**. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 292 p.

FEECO INTERNACIONAL. **Briquetters**. 2018. Disponível em: <https://feeco.com/briquetter/>. Acesso em Nov. 2018.

FERNANDES, D. L. **Proposição de alternativas e ações para universalização dos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos no município de Pombal-PB**. 2016. 70 f. Monografia – Centro de Ciências e Tecnologias Agroalimentar, Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2016.

FIGUEIREDO, E. R. **Preparação e caracterização de briquetes obtidos da vagem da moringa e do papel celulose**. 2018. 36 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB. 2018.

FREITAS, L. F. S, FILHO, J. D. O. Potencial Econômico da Reciclagem de Resíduos Sólidos na Bahia. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n 02, 2009.

GINÂNI, T. P. **Estudo Preliminar da Produção de Briquetes Compostos a Partir de Resíduos Vegetais**. 2013. 37p. Monografia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Angicos, RN, 2013.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. **Rev. Virtual Quim.**, v.9, n. 1, p.15-28, 2017.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.657–661, 2009.

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

HDRA. **The Organic Organization. Moringa Oleifera A Multi-Purpose Tree**. Hdra Publishing. 2002. Disponível em: <[https://miracletrees.org/moringa-doc/all\\_about\\_moringa\\_the\\_wonder\\_tree.pdf](https://miracletrees.org/moringa-doc/all_about_moringa_the_wonder_tree.pdf)>. Acesso em: Out. 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. v 4.3.8.18. 2017. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pombal/panorama>. Acesso em nov 2018.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura. Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013. 194 p.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. 5. reimp. São Paulo: Atlas, 2007.

MAIA, C. M. B. F. Produção de biocarvões por pirólise lenta: Potencial agrícola e ambiental. **Anais**, XII Evento de Iniciação Científica da Embrapa Florestas, Colombo, PR, 26 e 30 de julho de 2013 [recurso eletrônico] - Colombo: Embrapa Florestas, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/973183/producao-de-biocarvoes-por-pirolise-lenta-potencial-agricola-e-ambiental>. Acesso em: nov. 2018.

MARAFON, A.C; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. dos S. **Uso da biomassa para a geração de energia** – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p.

MAROZZI, C R B. **Caracterização de resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem**. 2012. 37p. Monografia (em Ciências Florestais e da Madeira). Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro–ES.

MOERS, E.M.; VIEIRA, A. C.; FERNANDES, D.M.; SOUZA, S. N. M.; BARICATTI, R. A. Caracterização da biomassa residual proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia. **I COLASSA – Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental**. Foz do Iguaçu, PR. 2011.

MME. Ministério das Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira 2018, ano base 2017**. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/Imprensa-e-Midias/Documents/Resenha%20Energ%C3%A9tica%202018%20-MME.pdf>. Acesso em nov 2018.

MOH, Y. C.; MANAF, L. A. Overview of household solid waste recycling policy status and challenges in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 82, p. 50-61. 2014 [http:// dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.004](http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.11.004).

NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Aproveitamento de Resíduos Vegetais para a Produção de Briquetes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. Nº 34, 2014.

NUNES, O. M; BORGES, G. DA R.; WOHLBERG, J.; RODRIGUES, E. D.; MATHIAS, L. R.; LOPES, L. O uso da casca de arroz como alternativa energética: um estudo de caso no município de Dom Pedrito – RS. **IGEPEC, TOLEDO**, v. 21, n.2, p. 42-62, jul./dez. 2017.

PALIWAL, R., SHARMA, V., PRACHETA, J. A review on horse radish tree (*Moringa oleifera*): a multipurpose tree with high economic and commercial importance. **Asian J. Biotechnol.** v. 3, n. 4, p. 317–328, 2011.

PAULA, L. E. de R. E. **Efeito da Torrefação e briquetagem nas propriedades energéticas de resíduos agroindustriais**. 2014. 88 p. Tese 37 (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, F. S. G. **Viabilidade sustentável de Moringa oleifera para produção de biodiesel e briquetes**. 2015. 141p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco. CCEN. Química, Recife, PE.

PEREIRA, F. S. G.; BRITO NETO, E. X.; WEI, S.; GALVÃO, C. C.; LIMA, V. F.; SILVA, V. L.; LIMA FILHO, N. M. Produção de Biodiesel Metílico com Óleo Purificado de Moringa oleifera Lamarck. **Rev. Virtual Quim.**, v. 8, n. 3, p. 873-888, 2016.

PETRICOSKI, S. M. **Briquetes produzidos com mistura de podas urbanas, glicerina e resíduos de processamento de mandioca**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em



Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.

POLLARD, S. J. T.; THOMPSON, F. E.; McCONNACHIE, G. L. Microporous carbons from Moringa oleifera husks for water purification in less developed countries. *Water Research*, v.29, n.1, p.337-347, 1995.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília: LPF/IBAMA, 2003. 14p.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e Índice de Combustão de Briquetes de Carvão Vegetal**. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA. Brasília, 1991. 19p. Disponível em: < <http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/indice.pdf>>. Acesso em 16 nov.2018.

RAMBO, M. K. D; RAMBO, M. C. D; ALMEIDA, K. J. C. R; Alexandre, G. P. Study of thermogravimetric analysis of different lignocellulosic biomass using principal component analysis. **Ciência e Natura, Santa Maria**, v. 37 n. 3 set-dez. 2015, p. 862-868. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-46018332. DOI: <http://dx.doi.org/105902/217946018332>.

RASHID, U.; ANWAR, F.; MOSER. B.R.; KNOTHE, G. Moringa oleifera oil: a possible source of biodiesel. **Bioresource Technology**, v.99, p. 8175-8179, 2008.

RODRIGUES, V. A. J. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. 117p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

RUEDA, S. M. G. Pré-tratamento e Hidrólise Enzimática do Bagaço de Cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual De Campinas. Campinas, 2010.

SANTOS, L. R. O; PRIMIANO-FILHO, M. C.; NAKASHIMA, G. T.; HANSTED, A. L. S.; DA SILVA, D. A.; ALESI, L. S.; VARANDA, L. D.; YAMAJI, F. M. Produção de combustível sólido a partir da palha de cana-de-açúcar e braquiária. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.7, n.2, p. 266- 279, 2018.

SAWIN, J. L.; BHATTACHARYA, S. C.; Galàn, E. M.; McCURONE, A.; MOOMAW, W. R.; Sonntag-O'Brien, V.; Sverrisson, F.; CHAWLA, K.; MUSOLINO, E.; SKEEN, J.; MARTINOT, E. **Renewables 2012 Global Status Report**. Paris: REN21, 2012. Disponível em: <[http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2012\\_low%20res\\_FINAL.pdf](http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf)>. Acesso em: jul. 2018.

SCHNEIDER, A; MÜHLEN, C. V. Caracterização cromatográfica de compostos orgânicos presentes nos resíduos sólidos provenientes de indústria de reciclagem de papel e sua aplicação na produção de briquetes de carvão vegetal. **Quim. Nova**, v. 34, n. 9, p. 1556-1561, 2011.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016, ISBN 978-85-60025-06-0.

VALE, A. T.; BUSTAMANTE, K.; FORTES, M. M.; LIMA, M. B DE O; JOSINO, M. N. Análise energética de briquetes de resíduos de *Eucalyptus spp.*, *Dipterix alata*, *Caryocar brasiliense* e *Musa spp.* **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14, n.25; p. 102-113, 2017.

VALE, A.T. DO; BARROS, L. O.; QUIRINO, W. J.; MOREIRA, A. C. O. Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 5, p. 1-10, 2012.

VASSILEV S.V; VASSILEVA C.G; SONG Y; LI W; FENG J. Ash contents and ash-forming elements of biomass and their significance for solid biofuel combustion. **Fuel**, v. 208, p. 377 - 409, 2017.

VAZ JUNIOR, S. O Potencial dos coprodutos e dos resíduos da biomassa agroindustrial na química renovável. **Informativo CRQ-IV**, São Paulo, 2012.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da Biomassa Proveniente de Resíduos Agrícolas para geração de energia**. 56p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTOMO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energ. Agric., Botucatu**, v. 28, n.1, p.11-15, jan-mar, 2013.

WANG, S. et al. Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review. **Progress in Energy and Combustion Science**. 2017.

WERTHER J.; SAENGER, M.; HARTGE, E. U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**. Alemanha: Pergamon, v.26, p. 1-27, 2000.

Agência Brasileira ISBN  
ISBN: 978-65-86230-26-0