

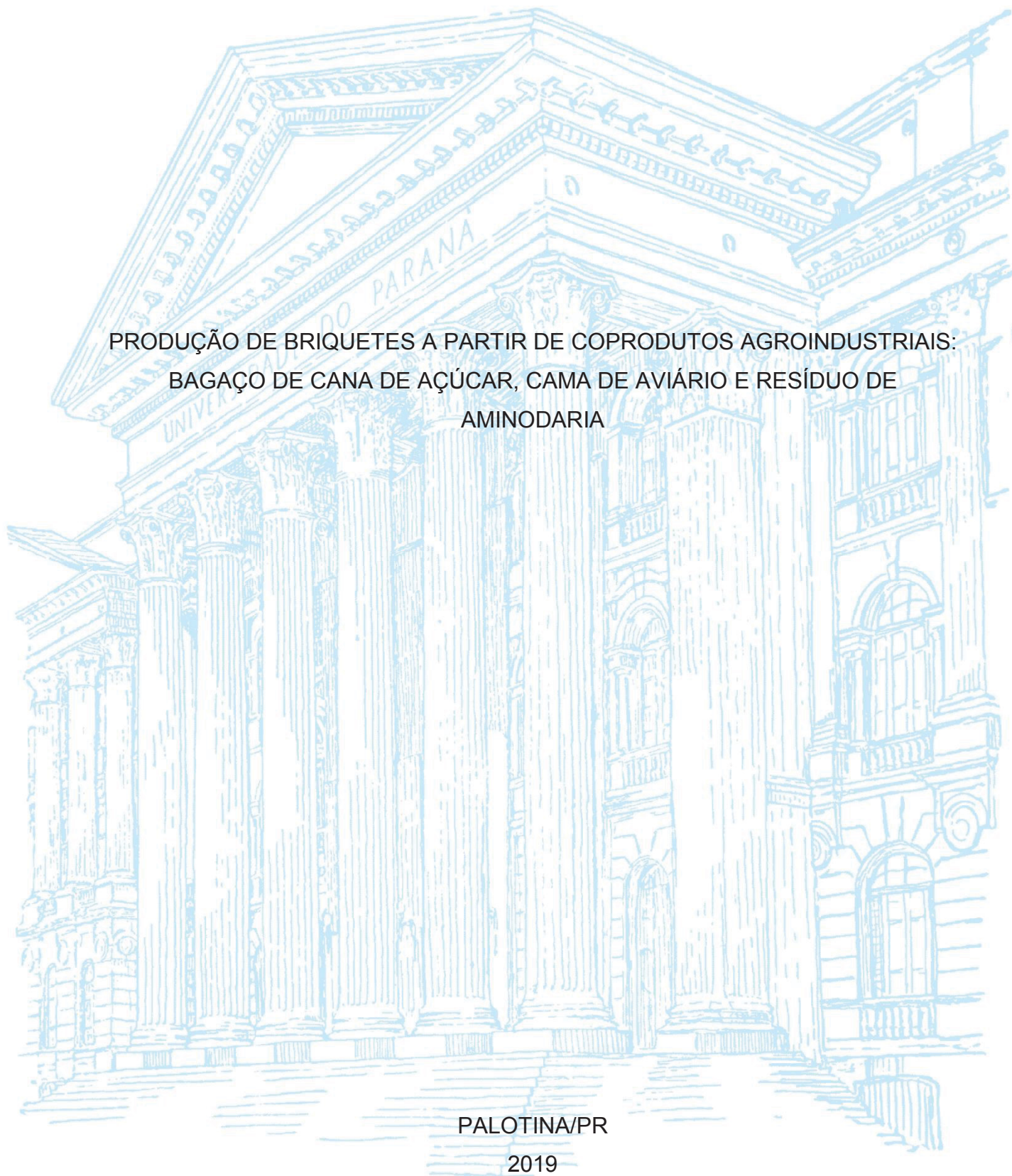
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VENICIO STEFFLER

PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS:
BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR, CAMA DE AVIÁRIO E RESÍDUO DE
AMINODARIA

PALOTINA/PR

2019



VENICIO STEFFLER

PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS:
BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR, CAMA DE AVIÁRIO E RESÍDUO DE
AMINODARIA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Bioenergia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Adriana Ferla de Oliveira

PALOTINA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S817 Steffler, Venicio
Produção de briquetes a partir de coprodutos agroindustriais:
bagaço de cana de açúcar, cama de aviário e resíduo de amino-
daria / Venicio Steffler – Palotina, 2019.
86f.

Orientador: Joel Gustavo Teleken
Coorientadora: Adriana Ferla de Oliveira
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Bioenergia.

1. Energia. 2. Biomassa. 3. Biocombustível sólido. I. Teleken,
Joel Gustavo. II. Oliveira, Adriana Ferla de. III. Universidade
Federal do Paraná. VI. Título.

CDU 620.91



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR PALOTINA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO BIOENERGIA - UEL -
UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR -
40002012041P8

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **VENICIO STEFFLER** intitulada: **PRODUÇÃO DE BRIQUETES A PARTIR DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS: BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR, CAMA DE AVIÁRIO E RESÍDUO DE AMINODARIA**, sob orientação do Prof. Dr. JOEL GUSTAVO TELEKEN, que após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Palotina, 09 de Setembro de 2019.

JOEL GUSTAVO TELEKEN

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

EDUARDO LUCAS KONRAD BURIN

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

WILSON DE AGUIAR BENINCA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA

Coorientador - Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Dedico a presente dissertação primeiramente a Deus e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esse objetivo fosse alcançado.

AGRADECIMENTOS

À Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo da minha vida.

Aos meus pais Nelson Steffler e Nislei Steffler, e irmão Marcelo Steffler pelo carinho e apoio.

À minha noiva Letícia Cecilia Todeschini e meu filho Enrico pela paciência, companheirismo e incentivo.

Ao programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPGB) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Campus Palotina e Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) – Campus CEDETEG, pelo suporte para realização deste trabalho.

A Fundação Araucária pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof^o Dr^o. Joel Gustavo Teleken, pela confiança, orientação, incentivo e paciência.

À minha co-orientadora Prof^a Dr^a. Adriana Ferla de Oliveira, pela contribuição na realização das análises, ensinamentos e compreensão.

Aos professores (as) do Programa de Mestrado em Bioenergia das Universidades nucleadoras que de alguma forma estiveram presentes transmitindo conhecimento e auxiliando sempre que possível.

À banca examinadora deste trabalho.

À Indústria Biomassa, por dar suporte para a produção dos briquetes.

À todos os colegas, amigos e familiares, que fizeram desta jornada mais agradável.

À todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, meu muito obrigado.

"A alegria que se tem em pensar e aprender faz-nos pensar e aprender ainda mais. " (ARISTÓTELES)

RESUMO

Atualmente existem resíduos que causam problemas ambientais, podendo estes ser reaproveitados como matéria-prima para geração de energia. Com isso, o presente trabalho busca avaliar o potencial energético e as características físico-químicas da biomassa a partir de coprodutos agroindustriais das indústrias sucroalcooleira, amidonaria e avicultura para produzir briquetes com a mistura desses três materiais em diferentes proporções, com o objetivo de avaliar o potencial de geração de energia a partir destes briquetes. Primeiramente foram coletados os coprodutos *in natura* e avaliados os teores de umidade obtidos em base úmida, sendo: 90,41% bagaço de mandioca; 46,17% bagaço de cana-de-açúcar; 17,84% cama de aviário. As amostras foram preparadas por meio de centrifugação e secagem, com a finalidade de diminuir o excesso de água, para então determinar o teor de umidade, teor de voláteis e teor de cinzas por meio da análise imediata utilizando o método ASTM (E- 870-82). Também, foi realizada a determinação do poder calorífico, a análise elementar (teor de carbono, hidrogênio e oxigênio) e por fim foi realizada a análise estatística. O poder calorífico superior encontrado foi: 18,69 MJ/kg bagaço de mandioca; 17,52 MJ/kg bagaço de cana-de-açúcar; 15,44 MJ/kg cama de aviário. Com base nos resultados encontrados foram determinadas restrições para definir os percentuais das misturas das biomassas para a produção de briquetes. Os resultados encontrados para bagaço de mandioca se mostraram favoráveis, por apresentar um baixo teor de cinzas (1,44 %), e elevado poder calorífico (18,69 MJ/kg). Esse material será primordial na formação dos briquetes, atuando como material aglutinante. Para o bagaço de cana-de-açúcar, os teores encontrados foram aceitáveis, em relação a umidade e poder calorífico. Já a cama de aviário apresentou teor de cinzas elevado (20,05 %) mas pode ser uma solução ambiental para o setor. Dessa forma, foram definidas três misturas com percentuais de cada coproduto para produção dos briquetes, chamando as misturas de M1 (30% bagaço de cana, 5% bagaço de mandioca, 65% cama de aviário), M2 (42,5% bagaço de cana, 15% bagaço de mandioca, 42,5% cama de aviário) e M3 (65% bagaço de cana, 5% bagaço de mandioca, 30% cama de aviário), as mesmas após o processo de briquetagem foram submetidas a análise imediata, análise elementar, determinação do poder calorífico, densidade aparente e energética, análise de compressão e comparados as normas internacionais para briquetes. A mistura que obteve melhor eficiência energética foi o briquete produzido a partir da mistura M2, o qual apresentou um poder calorífico de 16,41 MJ/kg e em contrapartida o menor teor de cinzas (7,96 %), o que apresentou melhor relação C/H, H (6,89 %) e C (55,53 %), dessa forma possui maior potencial energético de queima. Esses resultados confirmam que a utilização dos resíduos agroindustriais para a produção de briquetes como fonte energética contribuem quanto aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, reduzindo o desperdício de matéria-prima e incentivando a utilização de bioenergia.

Palavras-chave: Energia. Biomassa. Biocombustível sólido.

ABSTRACT

Currently there are residues that cause environmental problems, which can be reused as raw material for power generation. Thus, the present work aims to evaluate the energy potential and physicochemical characteristics of biomass from agroindustrial by-products of the sugarcane, amidonaria and poultry industries to produce briquettes with the mixture of these three materials in different proportions, with the objective of evaluating the biomass potential for power generation from these briquettes. Firstly, the in natura co-products were collected and the moisture contents obtained on a wet basis were evaluated, as follows: 90.41% cassava bagasse; 46.17% sugarcane bagasse; 17.84% poultry litter. The samples were prepared by centrifugation and drying in order to decrease excess water, and then to determine the moisture content, volatile content and ash content by immediate analysis using the ASTM method (E-870- 82). Also, the calorific power determination was performed, the elemental analysis (carbon, hydrogen and oxygen content) and finally the statistical analysis was performed. The highest calorific value found was: 18.69 MJ / kg cassava bagasse; 17,52 MJ / kg sugarcane bagasse; 15.44 MJ / kg poultry litter. Based on the results found, restrictions were determined to define the percentage of biomass mixtures for briquettes production. The results found for cassava bagasse were favorable, as it presented a low ash content (1.44%) and a high calorific value (18.69 MJ / kg). This material will be primordial in the formation of briquettes, acting as a binder material. For sugarcane bagasse, the levels found were acceptable in relation to humidity and calorific value. Already the poultry litter had high ash content (20.05%) but may be an environmental solution for the sector. Thus, three mixtures with percentages of each co-product for briquettes production were defined, calling the mixtures M1 (30% sugarcane bagasse, 5% cassava bagasse, 65% poultry litter), M2 (42.5% sugarcane bagasse, 5% cassava bagasse, 52.5% poultry litter) and M3 (65% sugarcane bagasse, 5% cassava bagasse, 30% poultry litter), the same after the briquetting process were subjected to immediate analysis, elemental analysis, determination of calorific value, apparent and energy density, compression analysis and compared to international standards for briquettes. The mixture that obtained the best energy efficiency was the briquette produced from the M2 mixture, which had a calorific value of 16.41 MJ / kg and in contrast the lowest ash content (7.96%), which presented a better ratio. C / H, H (6.89%) and C (55.53%), thus have higher burning energy potential. These results confirm that the use of agro-industrial waste for the production of briquettes as an energy source contributes to the economic, social and environmental aspects, reducing the waste of raw materials and encouraging the use of bioenergy.

Keywords: Energy. Biomass. Solid biofuel.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL.....	25
FIGURA 2 - ENERGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR.	27
FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL....	27
FIGURA 4 - BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR <i>IN NATURA</i>	28
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DA ÁREA PLANTADA DE MANDIOCA NAS REGIÕES DO BRASIL	30
FIGURA 6 - PRODUÇÃO DE MANDIOCA NO BRASIL.	30
FIGURA 7 - BAGAÇO DE MANDIOCA <i>IN NATURA</i>	31
FIGURA 8 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CARNE DE FRANGO.....	32
FIGURA 9 - PRODUÇÃO DE FRANGO POR ESTADO.....	32
FIGURA 10 - CAMA DE AVIÁRIO <i>IN NATURA</i>	33
FIGURA 11 - COPRODUTOS APÓS BRIQUETAGEM.	34
FIGURA 12 - ETAPAS DA MATÉRIA-PRIMA ATÉ A BRIQUETAGEM.	35
FIGURA 13 - CORTE TRANSVERSAL DE UMA PRENSA DE PISTÃO.....	38
FIGURA 14 - BRIQUETADEIRA DO TIPO ROSCA SEM FIM.....	38
FIGURA 15 - BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO PÁTIO DA INDÚSTRIA.	42
FIGURA 16 - AMIDONARIA DE MANDIOCA.	43
FIGURA 17 - IMAGEM DA CAMA DE AVIÁRIO UTILIZADA PARA PRODUÇÃO DOS BRIQUETES.....	43
FIGURA 18 - BRIQUETADEIRA UTILIZADA PARA REALIZAÇÃO DOS BRIQUETES.	49
FIGURA 19 – AMOSTRAS REALIZADAS PARA ANÁLISE DE DENSIDADE.....	51
FIGURA 20 - MÁQUINA DE ENSAIO UNIVERSAL - 41 AGX, SHIMADZU.....	52
FIGURA 21 - MISTURA DOS MATERIAIS (M1,M2 E M3).	58
FIGURA 22 – BRIQUETES PRODUZIDOS PARA AS MISTURAS (M1, M2 E M3)..	59
FIGURA 23 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M1.....	65
FIGURA 24 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M2.....	66
FIGURA 25 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M3.....	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AOS BRIQUETES.	41
TABELA 2 - RAMPA DE AQUECIMENTO.	45
TABELA 3 - RESTRIÇÕES DOS VALORES DE BIOMASSA.	52
TABELA 4 - VALORES PERCENTUAIS PARA AS TRÊS BIOMASSAS UTILIZADAS	53
TABELA 5 - TEOR DE UMIDADE PARA AS BIOMASSAS <i>IN NATURA</i>	54
TABELA 6 - ANÁLISE IMEDIATA PARA O BAGAÇO DE MANDIOCA E DE CANA- DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO APÓS SECAGEM.....	55
TABELA 7 - TEORES DE HIDROGÊNIO, CARBONO E OXIGÊNIO DO BAGAÇO DE MANDIOCA, E DE CANA-DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO.	56
TABELA 8 - PODER CALORÍFICO PARA BAGAÇO DE MANDIOCA, E DE CANA- DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO.	57
TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE IMEDIATA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	60
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE ELEMENTAR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	61
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR, INFERIOR E ÚTIL DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	62
TABELA 12 - DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	64
TABELA 13 - RESULTADOS TESTE DE COMPRESSIBILIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	67
TABELA 14 - PADRÕES DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE BRIQUETES NA ALEMANHA.	68
TABELA 15 - PADRÕES DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE BRIQUETES, CERTIFICAÇÃO ENPLUS®.....	69
TABELA 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA UMIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	80
TABELA 17 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA UMIDADE. ...	80

TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO FIXO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	80
TABELA 19 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CARBONO FIXO.	81
TABELA 20 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE VOLÁTEIS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	81
TABELA 21 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA VOLÁTEIS. ..	81
TABELA 22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE CINZAS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	82
TABELA 23 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CINZAS.....	82
TABELA 24 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO HIDROGÊNIO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	82
TABELA 25 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA HIDROGÊNIO.	82
TABELA 26 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	83
TABELA 27 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CARBONO...	83
TABELA 28 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA UMIDADE DO OXIGÊNIO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	83
TABELA 29 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA OXIGENIO. ..	84
TABELA 30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	84
TABELA 31 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORIFICO SUPERIOR.....	84
TABELA 32 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PODER CALORÍFICO INFERIOR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	85

TABELA 33 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORÍFICO INFERIOR.	85
TABELA 34 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE PODER CALORÍFICO ÚTIL DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.	85
TABELA 35 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORÍFICO UTIL.	85

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABPA	- Associação Brasileira de Proteína Animal
ANOVA	- Análise de Variância
BC	- Bagaço de cana-de-açúcar
BEN	- Balanço Energético Nacional
BM	- Bagaço de mandioca
CA	- Cama de aviário
CEN	- Comitê Europeu de Normalização
CONAB	- Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
GEE	- Gases do Efeito Estufa
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOM	- Índice De Combustão
MME	- Ministério de Minas e Energia
OIE	- Oferta Interna de Energia
PNMC	- Política Nacional sobre Mudança do Clima
PCI	- Poder Calorífico Inferior PCI
PCS	- Poder Calorífico Superior
PCU	- Poder Calorífico Útil
UTM	- Universal Transversa de Mercator

LISTA DE SÍMBOLOS

% C	- Teor de Carbono
% CF	- Teor de Carbono Fixo
% CZ	- Teor de Cinzas
% H	- Teor de Hidrogênio
% O	- Teor de Oxigênio
% U	- Teor de Umidade
% MV	- Teor de Materiais Voláteis
R\$	- Real
A	- Ampere
BC1	- Amostra de Bagaço de Cana-de-açúcar (Repetição 1)
BC2	- Amostra de Bagaço de Cana-de-açúcar (Repetição 2)
BC3	- Amostra de Bagaço de Cana-de-açúcar (Repetição 3)
BM1	- Amostra de Bagaço de Mandioca (Repetição 1)
BM2	- Amostra de Bagaço de Mandioca (Repetição 2)
BM3	- Amostra de Bagaço de Mandioca (Repetição 3)
BU	- Base Úmida
C	- Carbono
C/H	- Relação Carbono e Hidrogênio
CA1	- Amostra de Cama de aviário (Repetição 1)
CA2	- Amostra de Cama de aviário (Repetição 2)
CA3	- Amostra de Cama de aviário (Repetição 3)
CO ₂	- Dióxido de Carbono
H	- Hidrogênio
kg	- Quilograma
kgf/cm ²	- Quilograma força por centímetro quadrado
L	- Litro
M1	- Mistura 1
M2	- Mistura 2
M3	- Mistura 3
Mesh	- Medical Subject Headings
MJ/kg	- Megajoule por Kilograma
N/mm ²	- Newton por milímetro quadrado

O - Oxigênio
rpm - Rotação por Minuto
SO₂ - Dióxido de Enxofre
tnf - Tonelada-força
ton/há - Tonelada por Hectare
W - Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS.....	20
1.1.1 Objetivo Geral	20
1.1.2 Objetivos Específicos	21
1.2 JUSTIFICATIVA.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS	24
2.2 BIOMASSA	25
2.3 CANA-DE-AÇÚCAR.....	26
2.3.1 Coprodutos da Cana-de-Açúcar.....	28
2.4 AMIDO DE MANDIOCA	29
2.4.1 Coprodutos da Mandioca	31
2.5 CAMA DE AVIÁRIO	32
2.5.1 Coprodutos da Avicultura	33
2.6 BRIQUETES	33
2.6.1 Etapas da Briquetagem.....	35
2.6.2 Pré-Tratamento	36
2.6.3 Trituração.....	36
2.6.4 Secagem.....	36
2.6.5 Moagem.....	36
2.6.6 Classificação dos Coprodutos	37
2.6.7 Compactação dos Coprodutos	37
2.7 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA.....	38
2.8 RESISTÊNCIA MECÂNICA	40
2.9 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS - BRIQUETES	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 COLETA DE COPRODUTOS	42
3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS	44
3.3 ANÁLISE IMEDIATA – ASTM DOS COPRODUTOS E DOS BRIQUETES	44
3.3.1 Determinação da Umidade.....	44
3.3.2 Determinação de Materiais Voláteis	45

3.3.3 Determinação de Cinzas	45
3.3.4 Determinação de Carbono Fixo	46
3.4 ANÁLISE ELEMENTAR DOS COPRODUTOS E BRIQUETES.....	46
3.5 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO	47
3.5.1 Poder Calorífico Superior	47
3.5.2 Poder Calorífico Inferior	48
3.5.3 Poder Calorífico Útil	48
3.6 BRIQUETAGEM.....	48
3.7 DENSIDADE DOS BRIQUETES	49
3.8 DENSIDADE ENERGÉTICA DOS BRIQUETES	51
3.9 ANÁLISE DE COMPRESSÃO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS	51
3.10 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	52
3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DOS COPRODUTOS <i>IN NATURA</i>	54
4.2 ANÁLISE IMEDIATA DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM.....	54
4.3 ANÁLISE ELEMENTAR DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM.....	56
4.4 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM	57
4.5 BRIQUETAGEM.....	58
4.6 ANÁLISE IMEDIATA PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	60
4.7 ANÁLISE ELEMENTAR PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	61
4.8 DETERMINAÇÃO DO PODER CARÍFICO PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS	62
4.9 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA	63
4.10 ANÁLISE DE COMPRESSÃO PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS	65
4.11 RESULTADOS COMPARADOS AS NORMAS INTERNACIONAIS	68
5 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS	80

1 INTRODUÇÃO

O uso de combustíveis fósseis como principal fonte de energia causou prejuízos ambientais e à saúde humana. A busca por alternativas sustentáveis na matriz energética vem crescendo e aumentando cada vez mais o espaço para as energias renováveis e limpas.

A principal alternativa tanto na parte ambiental como econômica, é a utilização da biomassa como fonte de energia primária e renovável. A biomassa, um recurso obtido através de matéria orgânica pode ser convertido em combustível gasoso, líquido ou sólido, entretanto representou apenas 8,2% da produção de energia elétrica no Brasil em 2017. Contudo, o emprego de biomassa para produção de energia apresenta grande potencial de crescimento uma vez que sua disponibilidade é abundante no país (EPE, 2018).

A biomassa pode ser aproveitada para geração de calor ou de energia elétrica, ou transformada em biocombustíveis sólidos tais como briquetes e pellets, líquidos como etanol e biodiesel, ou gasosos, a exemplo do biogás e gás de síntese. Através de diversas tecnologias, pode-se transformar estes biocombustíveis em energia nas formas mecânica, térmica ou elétrica, as quais podem ser utilizadas de diferentes maneiras para suprir as necessidades das atividades humanas (SAWIN et al,2012).

Segundo pesquisador da Embrapa Agroenergia (2015) os briquetes podem ser produzidos a partir de diversos resíduos vegetais, tendo aproximadamente diâmetro superior a 50mm. A compactação desses resíduos agrícolas ou florestais traz vantagens na parte operacional, logística, ambiental e energética.

O Paraná possui grande produção de resíduos agroindustriais oriundos das usinas de açúcar, amido de mandioca e avicultura, o levantamento desses dados baseou-se nas informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017).

O bagaço e a palha da cana são resíduos com elevado potencial de aproveitamento energético. Aproximadamente um terço da energia da cana-de-açúcar está armazenado quimicamente no caldo em forma de açúcares, e o restante na biomassa, sendo metade no bagaço e metade na palha (GOES, 2008).

Outro setor agroindustrial de grande importância nacional é a produção de amido. As amidonarias de mandioca geram quantidades significativas de resíduo com elevado potencial de reaproveitamento. No processamento da mandioca, além da

extração do amido, utilizado no setor alimentício, são gerados resíduos como a manipueira, que é um efluente líquido e o bagaço, que tem características fibrosas, e quando seco apresenta teores de amido superiores a 50 % (m/m) e elevadas concentrações de fibras, que são compostas de grande variedade de substâncias que apresentam distintas propriedades físicas, químicas e fisiológicas (JESUS, 2013).

A avicultura é um setor da agroindústria de suma importância comercial e alimentícia que gera grandes quantidades de resíduos. A cama de aviário é o rejeito de maior volume gerado da atividade avícola, e a sua destinação final é sua aplicação na agricultura como fertilizante (COSTA, 2012). Para muitos produtores avícolas, principalmente os grandes, os problemas com a gestão dos resíduos são bastante evidentes. Aviários localizados próximos a residências podem ter problemas com emissões de gases gerando odores desagradáveis e aqueles localizados próximos a cursos d'água, devem se preocupar com a poluição por lixiviação e por erosão (AIRES et al., 2009). A busca por alternativas de destinação final é de grande importância para o desenvolvimento sustentável do setor. Sua utilização na briquetagem apresenta vantagens para sua estocagem e transporte, além da geração de energia (NEITZKE, 2010).

Desta forma, o presente trabalho tem como propósito avaliar o potencial energético da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, bagaço de mandioca e cama de aviário separadamente e com proporções diferentes desses três coprodutos agroindustriais misturados, para verificar a viabilidade e reaproveitamento dos mesmos ser utilizados para a produção de briquetes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial energético e características físico-químicas da biomassa e briquetes produzidos a partir de coprodutos agroindustriais das indústrias sucroalcooleira, amidonaria de mandioca e avicultura.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Por meio da análise imediata determinar os teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas dos coprodutos e dos briquetes produzidos.
- b) Determinar a caracterização química dos coprodutos e após briquetagem, conhecendo teores de carbono, hidrogênio e oxigênio.
- c) Determinar o poder calorífico superior, inferior e útil dos coprodutos e dos briquetes produzidos.
- d) Determinar a densidade aparente e energética dos briquetes.
- e) Determinar a resistência mecânica dos briquetes.
- f) Avaliar a viabilidade da produção de briquetes a partir de variadas proporções de bagaço de mandioca, bagaço de cana-de-açúcar e cama de aviário.
- g) Analisar a adequação das características físico-químicas e energéticas dos briquetes às normas de qualidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os resíduos agroindustriais atualmente não devem ser vistos como resíduos, mas como coprodutos. Com os avanços da tecnologia, abrem-se oportunidades para diversos processos reaproveitarem seus subprodutos, podendo converter os mesmos em energia. Grande parcela dos impactos ambientais relevantes são reduzido quando resíduos agroindustriais são convertidos em combustíveis. Dessa forma a utilização de biomassa residual na geração de energia se torna um fator promissor, podendo trazer benefícios econômicos ao agronegócio, e reduzir dependências externas de energia (MME, 2014).

O Brasil é um dos países com maior produção agroindustrial, sendo que entre as três principais culturas do país está a cana-de-açúcar, que representa 17% da produção e a mandioca representa 3% da produção (IBGE, 2017).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB na safra de 2017/2018 o Brasil produziu 633,26 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo 37.477,4 milhões de toneladas pertencentes ao Paraná.

Com relação a mandioca a produção no Brasil em 2017 foi de 24.840.634 ton/há, sendo que o Paraná é considerado o segundo maior produtor do país, com 3.046.721 ton/há de mandioca, representando 14,79% da produção brasileira,

considerando que uma das cidades com destaque em eficiência produtiva e maior produtividade é Marechal Candido Rondon, localizada no Oeste Paranaense (EMBRAPA, 2017).

Conforme a Associação Brasileira de Proteína Animal – ABPA (2018) a produção de carne de frango em 2017 foi de 13,05 milhões de toneladas, sendo que o Paraná é responsável por 34,32%, liderando a produção no país. A região Oeste Paranaense é a que possui maior concentração de produção de frango.

Devido à grande produção no país desses produtos, a geração de resíduos acaba sendo elevada. A proposta é utilizar esses resíduos agroindustriais para a produção de briquetes, de forma a minimizar impactos ambientais e diminuir custos para as indústrias geradoras, reaproveitando os resíduos em seu próprio processo de produção.

Na usina sucroalcooleira, o bagaço de cana-de-açúcar vem sendo reaproveitado na própria usina para geração de energia. A sua aplicação no processo de briquetagem permite um aproveitamento energético maior, devida menor umidade no produto final.

Os coprodutos do processamento de mandioca em amidonarias são em maior parte efluentes líquidos utilizados na geração de biogás. Em menor quantidade tem-se o bagaço de mandioca, que é comercializado para ser utilizado na alimentação animal mesmo não apresentando um favorável valor nutritivo e baixo valor agregado. Por apresentar um elevado teor de amido e fibras, o bagaço de mandioca tem elevado potencial para geração de energia. Sua aplicação como bioenergia pode favorecer fatores ambientais e a longo prazo pode gerar receita para a indústria.

A cama de aviário é o principal coproduto da avicultura. Atualmente representa um fertilizante de elevado valor agregado para a agricultura. A sua aplicação para geração de energia representa uma medida ambiental em regiões com alto acúmulo de produtores de frango. Com o elevado acúmulo desse resíduo, podem ocorrer problemas com poluição hídrica, no solo e no ar. A sua utilização na briquetagem surge como uma alternativa de uso ao coproduto, considerando seus aspectos sanitários, econômicos e ambientais, agregando valor ao seu produto final.

O processo de briquetagem consiste em um processo físico, onde biomassa é submetida a elevadas temperatura e pressão, não alterando a constituição química da biomassa, mas aumentando sua densidade e energia por m³ de biomassa. Após a

briquetagem, os coprodutos agroindustriais ganham valor de mercado, além de facilidade em seu transporte e armazenamento.

A produção de briquetes será composta por misturas de três coprodutos (bagaço de cana-de-açúcar, cama de aviário e bagaço de mandioca) devido as propriedades físico-químicas de cada material apresentarem características distintas e influenciarem de forma significativa no processo final.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A energia é um dos principais fatores no desenvolvimento econômico e social do país. Pelo rápido crescimento dos países, a Agência Internacional de Energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2011), afirmou que entre 2010 e 2035, o consumo de energia aumentará pelo menos um terço.

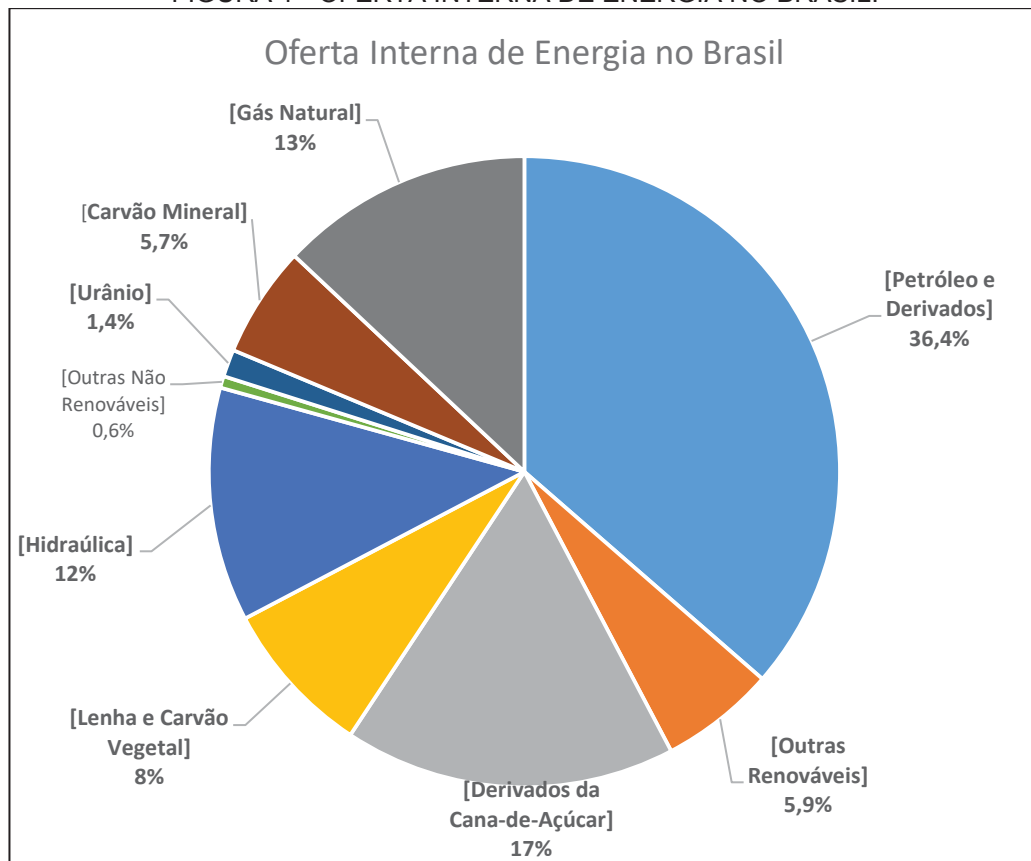
Nesse contexto, os combustíveis fósseis estão sendo substituídos por fontes renováveis de energia, dentre estas estão a solar, eólica, hidráulica, geotérmica e as derivadas de biomassa. Estas fontes renováveis vêm sendo de grande interesse por questões socioeconômicas e ambientais.

Em questões ambientais é necessário diminuir o uso de fontes fósseis principalmente devido as emissões de gases do efeito estufa (GEE). Conforme Edenhofer et al. (2012) a emissão de GEE até 2050 deve ser reduzida na ordem de 50 a 85 %, para que seja possível suavizar os efeitos causados pela emissão desses gases nas alterações climáticas.

Conforme a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009 – que Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), o Brasil se compromete que até 2020 irá reduzir entre 36,1 % e 38,9 % as emissões de gases de efeito estufa. Entre as medidas de mitigação está o aumento da participação energética originada de fontes renováveis.

A matriz elétrica do Brasil é predominante de origem renovável que representa 63,6 % da energia produzida no país (EPE, 2018). Com relação a Oferta Interna de Energia no Brasil (OIE) observa-se que desde 2000 as fontes renováveis de energia vêm crescendo e a participação de energia hidráulica vem sendo superada pelos derivados da cana-de-açúcar na forma de combustível etanol (EPE, 2013). Em 2017 os derivados da cana correspondem a 17 % da OIE (FIGURA 1). (EPE, 2018).

FIGURA 1 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA NO BRASIL.



FONTE: Adaptado de EPE (2018).

Segundo REN (2013), na América Latina, o Brasil continua a ser o principal investidor em energias renováveis e obriga as empresas petrolíferas a adicionar uma porcentagem de biocombustíveis ao combustível regular.

No Brasil, existem diversos programas para o incentivo do uso de energia através de fontes renováveis. Como o caso do projeto de lei 3.529/2012, que institui a diversificação da matriz energética a partir da política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa (ABRAF, 2013).

2.2 BIOMASSA

A biomassa é uma das fontes de produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Corresponde a qualquer tipo de material orgânico com sua origem florestal, agrícola ou rejeitos urbanos e industriais que possam ser transformados em energia mecânica, térmica ou elétrica (VICHI e MANSOR, 2009; DHILLON e WUEHLISCH, 2013).

Existem várias fontes possíveis para se obter biomassa para geração energia. Toda energia contida através da biomassa, é uma bioenergia, ou seja, acontece através de processos de fotossíntese e quimiossíntese, dilatada e acumulada ao longo das cadeias ecológicas (SCHUCHARDT e RIBEIRO, 2001; LAL, 2005; SCARLAT et al., 2013).

Na década de 90 a biomassa se destacou no cenário energético mundial principalmente pela incorporação definitiva da temática ambiental nas discussões sobre desenvolvimento sustentável e pela assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997, buscando minimizar os efeitos ambientais e diversificar a matriz energética mundial (NOGUEIRA, 2007).

O Brasil é um país rico em biodiversidade, possui grandes áreas para cultivo e boas condições climáticas, alcançando assim altos níveis na utilização da biomassa (VAN DER SELT, 2009).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2015), a porcentagem da biomassa tende a aumentar nos últimos anos na matriz elétrica nacional. No Brasil essa bioeletricidade é obtida através da cogeração em unidades dos segmentos industriais sucroenergético e em menor escala de papel e celulose.

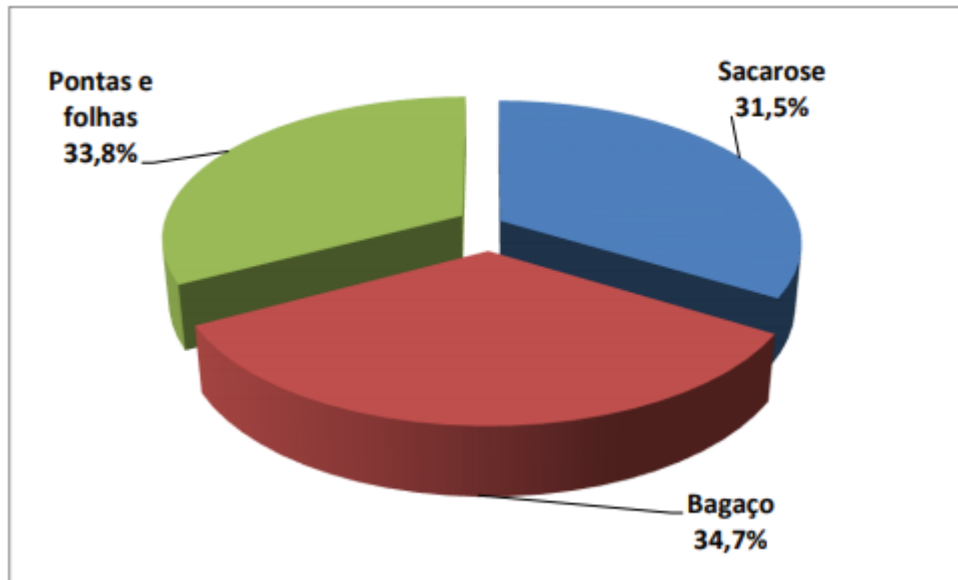
Além da biomassa gerar menos SO_2 e NO_x , reduz as emissões de CO_2 ao ambiente. Seu uso proporciona um equilíbrio no balanço entre a captura e a emissão de gás carbônico no ciclo de geração de energia. Entretanto, a biomassa apresenta algumas desvantagens, tais como o alto teor de umidade, natureza higroscópica, baixa densidade energética, difícil armazenagem, conseqüentemente o custo com transporte e armazenamento fica elevado. Esses fatores tornam a utilização da biomassa para produção de bioenergia em larga escala ineficiente e economicamente desfavorável. Contudo, muitas pesquisas têm sido realizadas visando à conversão da biomassa de baixo poder calorífico, para uma energia de alta qualidade, uma das alternativas para se tornar mais viável é o processo de briquetagem (KARKANIA et al., 2012).

2.3 CANA-DE-AÇÚCAR

O setor sucroalcooleiro no Brasil é um dos mais competitivos do mundo. A cana-de-açúcar apresenta claras vantagens ao se comparar com outras culturas. A biomassa da cana-de-açúcar pode produzir energia térmica e elétrica de forma

ambientalmente sustentável. A composição da cana-de-açúcar é indicada na FIGURA 2.

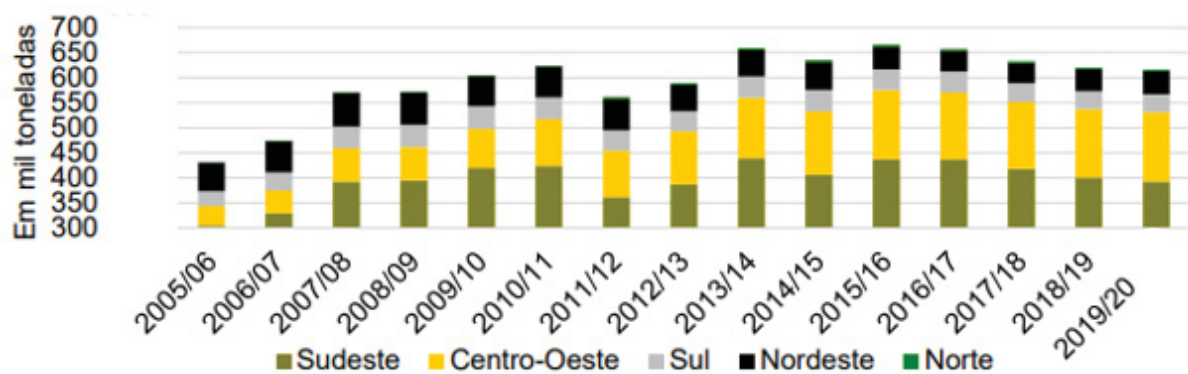
FIGURA 2 - ENERGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR.



FONTE: Moreira (1991).

Na FIGURA 3, pode-se observar a evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil desde a safra 2005/2006 até a safra de 2019/2020. Na região do Paraná a quantidade de produção de cana-de-açúcar foi de 35.290,8 mil/ton, valor bem próximo aos 35.495,2 mil/ton registradas em 2018/19 (CONAB, 2019).

FIGURA 3 - EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.



ADAPTADO DE: CONAB (2019).

2.3.1 Coprodutos da Cana-de-Açúcar

Em média metade da produção anual de cana-de-açúcar é utilizada para produzir etanol e outra metade é destinada à produção de açúcar (PECEGE, 2011).

O bagaço (FIGURA 4) é o principal coproduto da indústria em termos de processamento. O bagaço vem sendo utilizado como fonte de energia para atender à demanda energética (vapor e eletricidade) nas usinas produtoras de açúcar e de etanol. Cerca de 46 % do bagaço é água, com 50 % de sólidos dissolvidos e 4 % de açúcares solúveis. Uma tonelada de colmos de cana-de-açúcar gera entre 240 kg e 300 kg de bagaço (EPE, 2013).

FIGURA 4 - BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR *IN NATURA*.



FONTE: O Autor (2018).

O uso do bagaço é bastante restrito devido à sua baixa densidade e a maioria do produto disponível é destinada para uso como combustível na própria usina em que é gerado.

Segundo a CONAB (2011), 90 % do bagaço é destinado para uso como combustível e os outros 10 %, equivale a mais de 18.700 milhões de toneladas de resíduo, são destinados para usos alternativos, como a produção de briquetes. A produção de briquetes facilita o manuseio e amplia o uso, porém ele ainda está iniciando no país. Já em 2019, foi estimado que 50,6 % da produção total será destinado ao etanol (CONAB,2019).

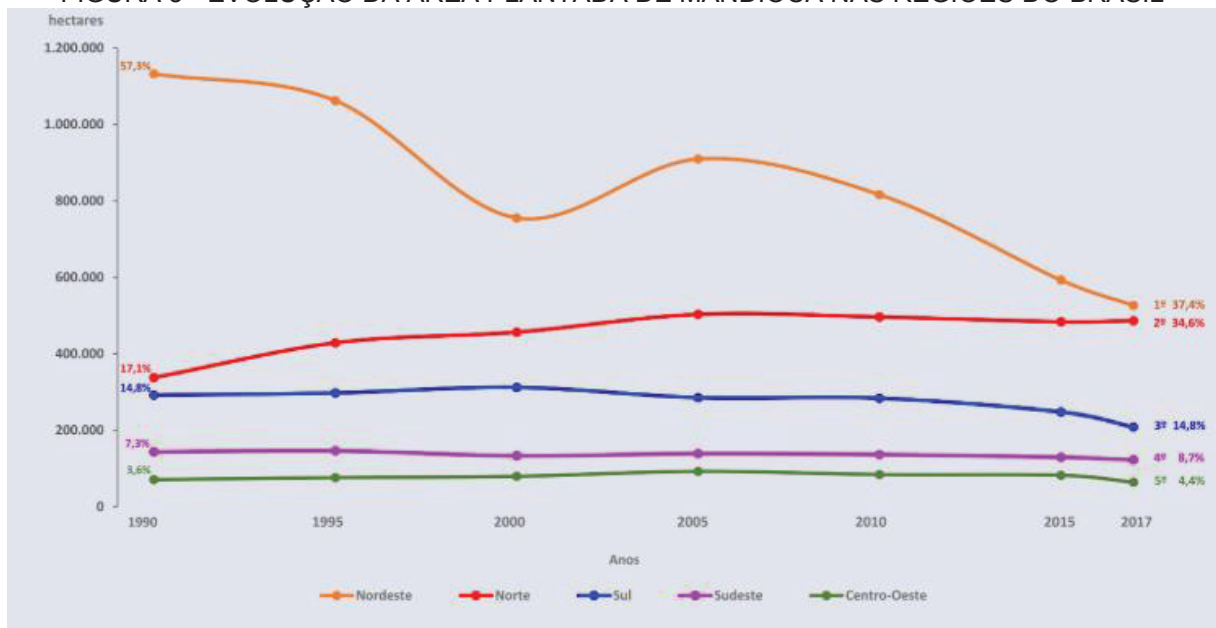
Segundo estudos realizados pela empresa TEC Tecnologia em Calor LTDA o poder calorífico inferior (PCI) encontrado para o bagaço de cana-de-açúcar foi de 3.200 kcal/kg, porém esse valor é variável de acordo com a região de cultivo. Já para fabricação de briquetes a análise de bagaço moído e passado em peneira de 100 mm, com cerca de 10 % de umidade resultou em PCI de 4.270 kcal/kg (RAMOS; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011). Para comparação, estudo com três clones de eucalipto com sete anos de idade, indicou um PCI médio de 4.450 kcal/kg (GADELHA et al., 2012). Ainda que algumas propriedades físicas do bagaço de cana possam não enquadrar como uma das melhores alternativas para a produção de briquetes (por exemplo, o elevado teor de umidade), a escala de produção e o adensamento desse resíduo são importantes fatores na escolha a ser adotada. Além do volume de bagaço que se pode coletar, os custos de sua obtenção podem ser mais baixos do que o necessário para coletar outros resíduos alternativos.

2.4 AMIDO DE MANDIOCA

No Brasil, a produção de amido de mandioca se concentra nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, com algumas indústrias também em São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Ceará (FELIPE e ALVES, 2005).

Segundo a Embrapa (2018), no Brasil a região Nordeste tem a maior área plantada desde 1990, com mais de 57 % da área cultivada no país, nos últimos anos vem reduzindo esses números, chegando a 37 % em 2017. Já a região Norte com a segunda maior área plantada, apresentou crescimento gradativo no mesmo período, passando de 17 % em 1990 para 34 % em 2017. A região Centro-oeste tem a menor área plantada, com 4,4 %, seguida da região Sudeste com 8,7 %. A região Sul representa 14,79 % da área de mandioca plantada no país, conforme a FIGURA 5.

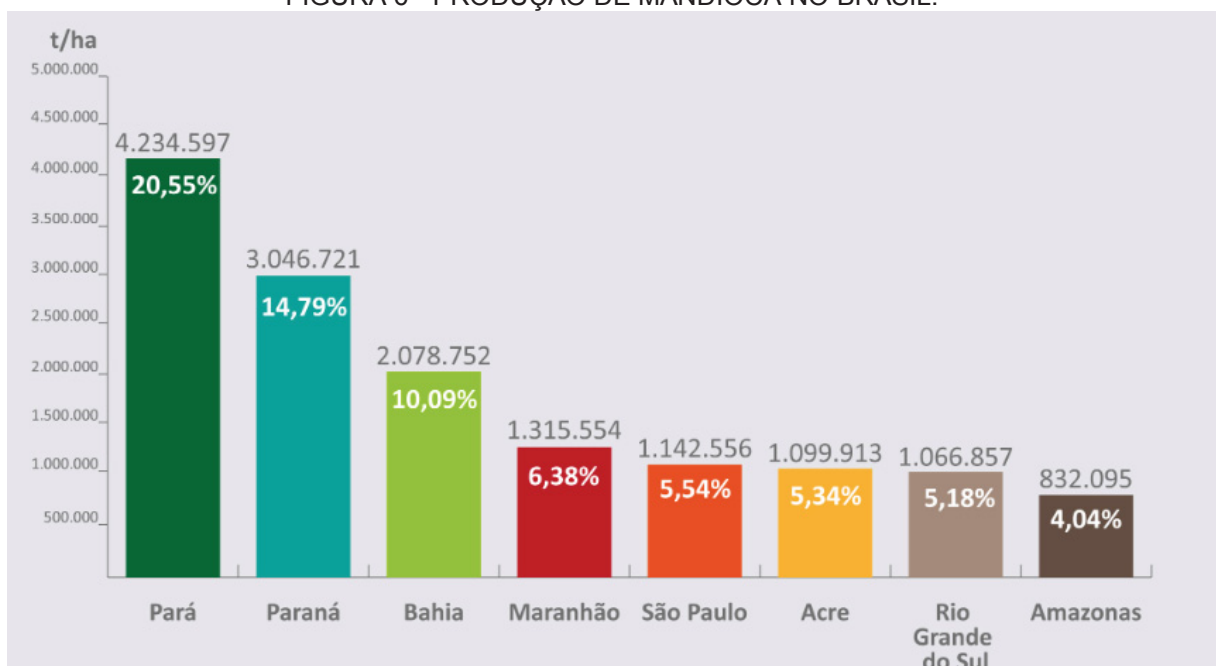
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DA ÁREA PLANTADA DE MANDIOCA NAS REGIÕES DO BRASIL



FONTE: EMBRAPA (2018).

Por sua vez, o Estado do Paraná, com pouco mais de 8,9% de área plantada, responde sozinho por 14,79% da produção brasileira de mandioca, com uma produtividade excepcional de 24.234,95 Kg/ha, contra 14.347,90 kg/ha do Estado do Pará, o maior produtor nacional com 20,55%, conforme apresenta a FIGURA 6.

FIGURA 6 - PRODUÇÃO DE MANDIOCA NO BRASIL.



FONTE: EMBRAPA (2018).

2.4.1 Coprodutos da Mandioca

A tecnologia de processamento da mandioca não se desenvolveu completamente, pois a geração de resíduos que ainda não são caracterizados como subprodutos ou coprodutos, sendo descartados de forma inadequada e consequentemente causando problemas ambientais (CAMARGO et al. 2008).

O bagaço da mandioca (FIGURA 7) quando descartado representa um desperdício de matéria-prima. Por possuir uma elevada retenção de água do material fibroso-amiláceo, o processo de secagem e transporte se tornam caros, além do material ser altamente perecível. Atualmente não há um processo pelas amidonarias que seja viável economicamente (SAITO et al. 2006).

FIGURA 7 - BAGAÇO DE MANDIOCA *IN NATURA*.



FONTE: O Autor (2018).

O bagaço de mandioca possui um teor de umidade frequentemente superior a 80 % (m/m), portanto para ser utilizado como matéria-prima ele deve ser submetido a secagem (RODRIGUES et al. 2011).

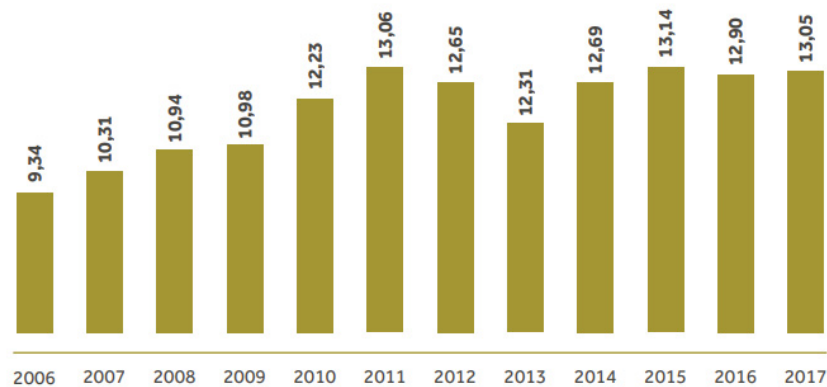
No processo de briquetagem, o bagaço de mandioca tem grande importância como aglutinante, servindo como material de ligação das biomassas, além de um baixo teor de cinzas.

2.5 CAMA DE AVIÁRIO

A avicultura é uma das atividades que mais vem crescendo no Brasil, que é considerado o terceiro maior produtor de aves de corte, ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China.

No Brasil, a produção de carne de frango em 2017 foi de 13,05 milhões de toneladas (FIGURA 8), sendo que o Paraná é responsável por 34,32 %, liderando a produção no país (FIGURA 9).

FIGURA 8 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE CARNE DE FRANGO.



FONTE: ABPA (2018).

FIGURA 9 - PRODUÇÃO DE FRANGO POR ESTADO.



FONTE: ABPA (2018).

2.5.1 Coprodutos da Avicultura

A cama de aviário (FIGURA 10) é o principal coproduto na avicultura e é normalmente reutilizada para reduzir o custo de produção e a poluição ambiental. Porém há poucas informações sobre suas características e padrões de qualidade nos diferentes lotes de reutilização. A cama normalmente é composta por um material produzido em abundância na região e esse material possui sempre uma parte muito lignificada e de difícil degradação (COSTA, 2012).

FIGURA 10 - CAMA DE AVIÁRIO *IN NATURA*.



FONTE: O Autor (2018).

A destinação inadequada desse rejeito pode causar impactantes problemas ambientais, como degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres e gerar riscos à saúde (AIRES et al., 2009).

Uma das alternativas de produzir energia limpa com esse coproduto é utilizá-lo na geração de energia elétrica, térmica e mecânica, produzindo poucos poluentes a atmosfera e agregando valor a produção agrícola (SEBRAE, 2008).

2.6 BRIQUETES

Uma forma de diminuir custos, desperdício e facilitar a logística, se dá através de aproveitamento dos resíduos. Dessa forma, o processo de briquetagem se destaca. Neste processo os resíduos lignocelulósicos, são compactados

possibilitando seu aproveitamento como matéria-prima na substituição de lenha, por exemplo, por um produto equivalente (SCHÜTZ et al, 2010).

Na briquetagem os resíduos são densificados (FIGURA 11), normalmente através de temperatura e pressão. O aumento da temperatura faz com que a lignina se torne plástica e atue como ligante natural das partículas durante a compactação (CHEN et al, 2009).

FIGURA 11 - COPRODUTOS APÓS BRIQUETAGEM.



FONTE: CHEN et al, (2009).

Além das ligninas também agem como adesivos naturais da biomassa as proteínas, amido, gorduras e carboidratos. A presença desses compostos justifica a ausência de aglomerantes artificiais no processo de briquetagem (KALIYAN; MOREY, 2009).

A qualidade dos briquetes é avaliada durante o uso e por meio de algumas características. Segundo Quirino e Brito (1991) os testes que avaliam as propriedades mecânicas são os mais usados. A resistência a compressão determina a capacidade de empilhamento na estocagem. O índice de quebra e abrasão determina a resistência durante o manuseio e o transporte. Porém todos esses testes precisam ser avaliados a partir das propriedades dos materiais que eles foram produzidos. Em muitos casos a densidade é o parâmetro mais importante. Briquetes com maior índice de combustão – ICOM (Equação 1) possuem qualidade superior, principalmente para uso industrial, pois seria consumida uma menor massa desse material para um determinado tempo de combustão e seria atingida uma temperatura mais elevada. Ainda segundo Quirino e Brito (1991) para se calcular o ICOM foi elaborado um

dispositivo de teste o qual verifica a temperatura e a massa a cada instante da combustão, permitindo a elaboração das curvas de temperatura x tempo e massa x tempo.

$$ICOM = (A \times B) \div (100 \times C) \quad (1)$$

Onde:

A - Porcentagem do tempo no qual a temperatura permanece acima de 150°C, em relação ao tempo total de teste até a temperatura final de 100°C

B - Porcentagem da temperatura máxima atingida em relação a temperatura de 150°C

C - Porcentagem da massa total consumida, gerando temperaturas acima de 150°C

2.6.1 Etapas da Briquetagem

A FIGURA 12 apresenta as etapas pelas quais as matérias primas podem passar, desde a colheita dos insumos até o armazenamento dos briquetes. Para cada tipo de matéria-prima é necessário avaliar a necessidade de cada etapa.

FIGURA 12 - ETAPAS DA MATÉRIA-PRIMA ATÉ A BRIQUETAGEM.



FONTE: NILSON et al, (2011).

2.6.2 Pré-Tratamento

Dependendo das condições iniciais a matéria-prima deve ser triturada para diminuir o tamanho das partículas ou submetidas a secagem para reduzir o teor da umidade (GIL et al., 2012).

2.6.3 Trituração

Antes de ser realizada a trituração o material deve ser secado. A indicação do equipamento para trituração se dá através da quantidade de massa a ser triturada, o tamanho da matéria-prima de entrada e o tamanho de partícula ideal para cada tipo de equipamento de compactação (SILVA, 2011).

O resultado do processo de trituração geralmente são pequenas partículas da biomassa original, de consistência próxima ao pó ou pedaços de alguns centímetros. A partir desse resultado, se avalia se há ou não necessidade da moagem posterior para diminuir o tamanho das partículas considerando o processo e o tipo de briquete que deseja (OBEMBERGER e THEK, 2010).

2.6.4 Secagem

O teor de umidade é uma variável importante no processo de compactação. Se, por um lado, a água facilita a gelatinização do amido, fragmentação de proteína, solubilização de fibras durante a densificação, o excesso da mesma pode levar à compactação e entupimento na alimentação do maquinário (SILVA, 2011).

Estudos mostram que o teor de água ideal, para a maioria das biomassas, está entre 5 -10%, pois resulta em um produto mais denso, estável e durável do que briquetes compactados com teores de água acima dos 15%. No entanto, outros estudos sugerem teores de umidade entre 15 e 23% para produtos como serragem e palha de trigo (DEMIRBAS et al., 2004).

2.6.5 Moagem

O tamanho da partícula é importante para determinar a qualidade e durabilidade do briquete.

Quanto menor o tamanho de partícula, menor será a porosidade do produto final e maior será a sua densidade (GIL et al., 2012).

A baixa porosidade do briquete pode dificultar a queima devido ao menor número de espaços livres para difusão de calor. Sendo assim, a taxa de combustão dos produtos muito densos será menor e maior o período de combustão (GIL et al., 2012).

Estudos mostram que a condição ideal é a presença de partículas de diferentes tamanhos, pois isso possibilita a melhora no empacotamento das partículas e contribui para a alta resistência dos briquetes (RASGA, 2013).

2.6.6 Classificação dos Coprodutos

A classificação ocorre para que não haja materiais não desejados juntamente com a matéria-prima escolhida.

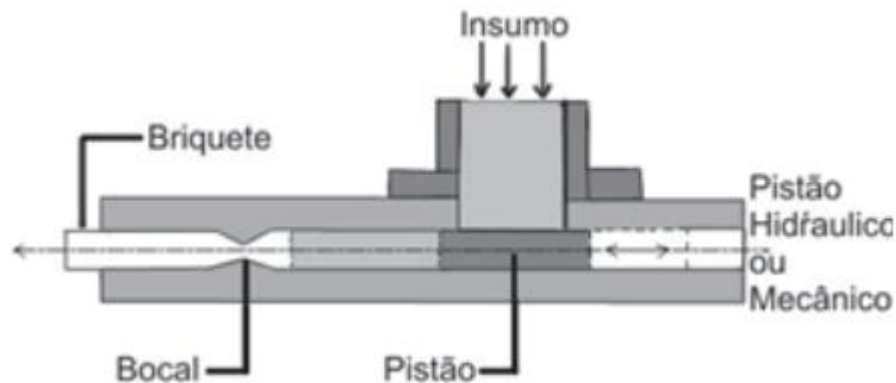
A classificação é feita por peneiramento, usando telas metálicas, disponíveis em vários tipos e tamanhos.

2.6.7 Compactação dos Coprodutos

As prensas de pistão (FIGURA 13) hidráulico em geral encontram aplicações na compactação fria e de baixa pressão, pois não conseguem alcançar as elevadas pressões e temperaturas das prensas de pistão mecânico (BHATTACHARYA et al., 1989).

A pressão necessária para a compactação é produzida por um cilindro hidráulico que libera o briquete comprimido uma vez que a pressão é atingida e pode ser ajustada usando um regulador para manter a consistência (FILIPPETTO, 2008).

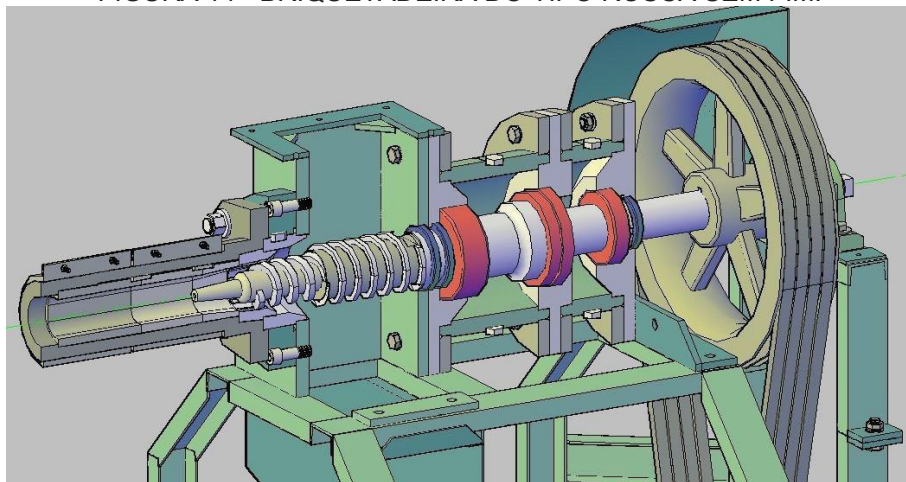
FIGURA 13 - CORTE TRANSVERSAL DE UMA PRENSA DE PISTÃO.



FONTE: PISTON et al, (2012).

A briquetadeira de extrusão por rosca sem fim (FIGURA 14), utilizada na presente pesquisa produz briquetes com um orifício ao centro. Esta característica concede aos briquetes uma elevada densidade, bem como resistência mecânica, de modo que as partículas se apresentam unidas obtendo um eficiente poder de queima (QUIRINO, 2000).

FIGURA 14 - BRIQUETADEIRA DO TIPO ROSCA SEM FIM.



FONTE: PISTON et al, (2012).

2.7 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA

A densidade é uma ferramenta utilizada como parâmetro para análise de qualidade dos biocombustíveis sólidos. Várias normas internacionais descrevem a densificação das partículas sólidas como padrão de qualidade de briquetes (RABIER et al, 2006).

A densidade pode ser determinada de várias maneiras. Um dos métodos é baseado no princípio de Arquimedes, onde o volume dos briquetes é estimado pelo volume de água deslocado no momento em que a amostra é submergida em líquido, porém esse método não é recomendado, pelos briquetes serem materiais higroscópicos, podendo absorver o líquido no qual foi submergido. O método estereométrico é baseado na medição das dimensões do briquete de forma regular, sendo seu diâmetro e altura, medidos com auxílio de uma régua. Assim o volume do briquete é determinado pelo cálculo do volume de um cilindro (VENDRASCO et al., 2010)

A densidade energética (DE) é a propriedade que avalia o desempenho da biomassa como combustível, pois resume as características físico-químicas (constituição química, poder calorífico e cinzas) e é definida como o produto entre o poder calorífico e a densidade (Pinheiro et al, 2005). Para Quirino & Brito (1991), a partir da densidade aparente do briquete é que se determina a quantidade de energia ou calor acumulada neste material com volume definido.

Segundo Embrapa (2012) a densidade aparente dos briquetes varia entre 500 e 1.200 kg/m³. A densidade a granel dos briquetes dificilmente excede 500 kg/ m³, mas ainda é significativamente maior que a densidade a granel da biomassa bruta não adensada.

Visando a utilização energética dos combustíveis sólidos de biomassa é desejável uma alta densidade energética, portanto a briquetagem transforma resíduo de baixa densidade em produto densificado e com alto potencial energético, com baixa umidade e forma adequada (QUIRINO et al, 2004).

As vantagens de um biocombustível de alta densidade incluem uma maior razão energia/volume, além de facilidades em transporte, manuseio e armazenamento. A densidade dos compactados vai variar de acordo com a densidade da matéria-prima de origem, da pressão da briquetadeira, tempo e temperatura de processamento. Quando materiais com partículas maiores tendem a diminuir a densidade do produto final, podendo se elevar quando aplicadas temperatura e pressão elevadas (DERMIBAS et al., 2004).

2.8 RESISTÊNCIA MECÂNICA

A resistência dos briquetes a compressão é um parâmetro significativo na avaliação do briquete ao manuseio e condição de trabalho. Segundo Melo (2000) a resistência a compressão é determinada para verificar seu comportamento mecânico quando submetido a uma determinada carga ou esforço.

A umidade da matéria-prima pode influenciar diretamente na qualidade do briquete produzido além do tamanho da partícula, quando se trata de resistência mecânica. Dessa forma, materiais com teores acima de 15 % ou abaixo de 9 % podem apresentar rachaduras no briquete recém formado podendo causar sua desintegração durante sua manipulação e transporte (Quirino, 1991).

Segundo Souza (2014) uma ferramenta para direcionar a utilização dos briquetes é sua avaliação mecânica, verificando sua aplicação doméstica ou industrial.

Os teores de carbono fixo e cinzas possuem correlações lineares com a resistência do briquete. Quando baixo teor de cinzas e elevado carbono fixo o briquete deve possuir elevada resistência mecânica (Quirino, 1991).

2.9 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES DE BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS - BRIQUETES

As normas técnicas têm como objetivo garantir a uniformidade dos briquetes, criando assim um mercado em que biocombustíveis sólidos possam ser comercializados entre diferentes países (EMBRAPA, 2012).

O mercado Europeu se destaca nesse quesito, pois já possui normas garantindo a uniformidade em benefício do consumidor. Devido à grande variedade de normas no mercado Europeu, foi criado um movimento com a intenção de unificar as normas existentes em apenas uma, para isso, o *European Committee for Standardisation* (CEN) - Comitê Europeu de Normalização - recebeu um mandato para desenvolvimento de normas para combustíveis sólidos, incluindo parâmetros e orientações pertinentes à densidade das partículas, teor de umidade, diâmetro da partícula, comprimento da partícula, teor de cinzas, poder calorífico, entre outros (Dias et al., 2012).

No Brasil não há normas específicas para análise das propriedades dos briquetes. São utilizados métodos de análises próprias ou adaptadas normas ABNT

(Associação Brasileira de Normas Técnicas), dificultando assim exportações. Mesmo sendo um país que possui grande diversidade de materiais apropriados para produção de biocombustíveis sólidos, é necessário o estabelecimento de normas, capacitação de pessoas e laboratórios, agregando assim valor a biomassa que é aproveitada no país (EMBRAPA, 2012).

Na TABELA 1, apresenta-se as principais normas técnicas relacionadas aos briquetes.

TABELA 1 - PRINCIPAIS NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AOS BRIQUETES.

País	Instituição Normatizadora ou Orientadora	Principal Norma ou Orientação
Alemanha	Deutsches Institut fur Normung - DIN	A norma DIN Plus estabelece padrões para péletes e briquetes de alta qualidade, propondo testes de quantificação de teor de metais pesados entre outros requisitos físico-químicos. Atualmente é a mais importante certificação mundial de qualidade para péletes de madeira.
Áustria	Österreichisches Normungsinstitut - ÖNORM	A norma ÖNORM M7135 apresenta parâmetros físico-químicos de péletes e briquetes de madeira com ou sem casca.
Suécia	Svensk Standards - SS	A norma SS187120 estabelece três categorias na qualidade dos péletes, sendo os do grupo 1, péletes de mais alta qualidade e o do grupo 3 de qualidade mais baixa. A norma SS187121 trata exclusivamente de briquetes.
Itália	Comitato Termotecnico Italiano - CTI	A orientação CTI-R04/05 estabelece os parâmetros de qualidade de péletes derivados de biomassa. Divide-os em 3 categorias, dependendo da origem da biomassa.
França	International Association of Bioenergy Professionals - ITEBE	Orientação que classifica péletes de acordo com seu uso (fogão, caldeiras e incineradores) e apresenta parâmetros físico-químicos de qualidade.
Europa	European Committee for Standardisation – CEN	Norma BS EN 14961:2010 apresenta definições, especificações e classes de biocombustíveis sólidos.
Estados Unidos da América	Pellet Fuel Institute - PFI	Propõe a utilização de várias normas ASTM para caracterização físico-química de péletes.

FONTE: Adaptado de Embrapa (2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DE COPRODUTOS

As biomassas utilizadas no presente trabalho foram doadas por indústrias da região Oeste e Noroeste do Paraná.

O bagaço de cana-de-açúcar foi doado pela Usina Santa Terezinha Ltda. - USAÇUCAR e coletado na Unidade de Cidade Gaúcha, Noroeste do Paraná. Foram cedidos aproximadamente 500 kg do bagaço de cana *in natura*. Esse material estava armazenado no pátio da indústria a céu aberto (FIGURA 15).

FIGURA 15 - BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO PÁTIO DA INDÚSTRIA.



FONTE: O Autor (2018).

O bagaço de mandioca foi doado pela Cooperativa Agroindustrial C. Vale e coletado na Amidonaria de Mandioca São José (FIGURA 16), no município de Terra Roxa, localizada na região Oeste do Paraná. Foram doados aproximadamente 500kg do resíduo. O resíduo foi processado no momento da coleta, sendo considerado fresco.

FIGURA 16 - AMIDONARIA DE MANDIOCA.



FONTE: C VALE (2018).

A cama de aviário (FIGURA 17) foi cedida por um produtor da Cooperativa C. Vale, cujos aviários estão localizados no município de Palotina, Região Oeste do Paraná. Foram doados cerca de 500 kg de cama de aviário. Esse material encontrava-se armazenado em barracão coberto.

FIGURA 17 - IMAGEM DA CAMA DE AVIÁRIO UTILIZADA PARA PRODUÇÃO DOS BRIQUETES.



FONTE: O Autor (2018).

3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS

As amostras de bagaço de cana-de-açúcar e cama de aviário foram secas em estufas de secagem com circulação e renovação de ar localizadas no Laboratório de Produção de Biocombustíveis e Laboratório de Química Orgânica da UFPR - Setor Palotina, no município de Palotina.

As amostras de bagaço de mandioca apresentaram um elevado teor de umidade, acima de 85 % tornando necessário otimizar seu processo de secagem. O material foi centrifugado até atingir valor próximo a 35 % de umidade. A centrifuga utilizada é de uso doméstico, tem capacidade de 3 kg por batelada, 190 W de potência e capacidade de centrifugação de 1800 rpm. Em seguida foi submetido a secagem, em estufa de secagem com circulação e renovação de ar.

3.3 ANÁLISE IMEDIATA – ASTM DOS COPRODUTOS E DOS BRIQUETES

A determinação dos teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas para as biomassas e os briquetes foi realizada pelo o método ASTM (E- 870-82), empregado para análise imediata de biomassa e resíduos. As análises foram realizadas em triplicata.

Primeiramente, as biomassas *in natura* foram secas em estufa a temperatura de 105°C, até massa constante. Após a secagem o material foi moído em moinho de facas do tipo Willye e peneirado com peneirador usando para análise a fração 40 - 60 mesh.

3.3.1 Determinação da Umidade

Determinou-se o teor de umidade das amostras colocando-se os cadinhos e as tampas por 1 hora na estufa a 110 °C (104 a 110 °C). Em seguida, colocou-se os cadinhos e as tampas no dessecador por 30 minutos. Pesou-se os cadinhos com as tampas. Colocou-se amostra suficiente para encher $\frac{3}{4}$ dos cadinhos, tampou-se e pesou-se. Colocou-se os cadinhos destampados e as tampas na estufa por 2 horas a 110 °C. Colocou-se os cadinhos tampados no dessecador por 30 minutos. Pesou-se. Repetiu-se o procedimento até que não houvesse mais variação de massa. Determinou-se o teor de umidade conforme Equação 2.

$$U(\%) = \frac{MU-MS}{MS} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

U – Umidade (%)

MU – Massa Úmida (g)

MS – Massa Seca (g)

3.3.2 Determinação de Materiais Voláteis

Para realizar a determinação do teor de materiais voláteis aqueceu-se a mufla a 850 °C (850 ± 20 °C), colocou-se os cadinhos tampados na mufla por 6 minutos, retirou-se e colocou-se em dessecador. Após esfriar pesou-se. Determinou-se o teor de materiais voláteis conforme Equação 3.

$$MV(\%) = \frac{MS-MCC}{MS} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

MV – Matéria Volátil (%)

MS – Massa Seca (g)

MCC – Massa de Carbono e Cinzas (g)

3.3.3 Determinação de Cinzas

Para a análise do teor de cinzas colocou-se os cadinhos destampados na mufla fria. Aqueceu-se lentamente até 750 °C, segundo a rampa de aquecimento (TABELA 2) e mantém-se nessa temperatura durante 2 horas.

TABELA 2 - RAMPA DE AQUECIMENTO.

Temperatura (°C)	Tempo de aquecimento (Min.)	Rampa de aquecimento (°C/Min.)
0-500°C	60	8
500-750°C	60	4

FONTE: O Autor (2018).

Colocou-se no dessecador e tampou-se. Após esfriar, pesou-se. Determinou-se o teor de cinzas conforme a Equação 4.

$$CZ(\%) = \frac{MC}{MS} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

CZ – Teor de Cinzas (%)

MC – Massa Cinzas (g)

MS – Massa Seca (g)

3.3.4 Determinação de Carbono Fixo

A determinação do teor de carbono fixo foi feita por diferença de massa conforme descrito na Equação 5.

$$CF(\%) = \frac{MCC-MC}{MS} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

CF – Teor de Carbono Fixo (%)

MCC – Massa Carbono e Cinzas (g)

MC – Massa Cinzas (g)

MS – Massa Seca (g)

3.4 ANÁLISE ELEMENTAR DOS COPRODUTOS E BRIQUETES

Segundo Parikh, et. al., (2007), é possível estimar os teores de Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O) com um percentual de erro abaixo de 3,74% pelas Equações para determinação das composições por correlação 6, 7 E 8.

$$C = 0.637CF(\%) + 0.455MC(\%) \quad (6)$$

Onde:

C – Teor de Carbono (%)

CF – Carbono Fixo (%)

MC – Massa Cinzas (%)

$$H = 0.052CF(\%) + 0.062MV(\%) \quad (7)$$

Onde:

H – Teor de Hidrogênio (%)

CF – Carbono Fixo (%)

MV – Materiais Voláteis (%)

$$O = 0.304CF(\%) + 0.476MV(\%) \quad (8)$$

Onde:

O – Teor de Oxigênio (%)

CF – Carbono Fixo (%)

MV – Materiais Voláteis (%)

3.5 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

3.5.1 Poder Calorífico Superior

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi estimado através da Equação 9 (PARIKH, et.al., 2004), em MJ/kg.

$$PCS = 0.3536CF(\%) + 0.1559MV(\%) - 0.0078CZ(\%) \quad (9)$$

Onde:

PCS - Poder calorífico superior (MJ/kg)

CF – Carbono fco (%)

MV – Materiais voláteis (%)

CZ – Cinzas (%)

3.5.2 Poder Calorífico Inferior

Para determinação do Poder Calorífico Inferior (PCI), é necessário conhecer teores de carbono e hidrogênio da amostra. Segue a Equação 10 para determinação do PCI em MJ/kg (PARIKH, et. al., 2004).

$$PCI = (PCS - \frac{C(\%).600.9.H(\%)}{100})/239 \quad (10)$$

Onde:

PCI – Poder calorífico inferior (MJ/kg)

PCS – Poder calorífico superior (MJ/kg)

C – Carbono (%)

H – Hidrogênio (%)

3.5.3 Poder Calorífico Útil

Para determinarmos o Poder Calorífico Útil (PCU) de uma biomassa segundo Parikh, et al., (2004), é necessário que conheçamos o teor de umidade da amostra, e seu Poder Calorífico Inferior. Aplicando-se a Equação 11 podemos obter o valor de PCU em MJ/kg.

$$PCU = PCI(1 - 0,01.U(\%)) - (600.0,01.U(\%))/239 \quad (11)$$

Onde:

PCU – Poder calorífico útil (MJ/kg)

PCI – Poder calorífico inferior (MJ/kg)

U – Umidade (%)

3.6 BRIQUETAGEM

As misturas 1, 2 e 3 foram moídas em um moinho industrial de facas com peneira abertura de 10 mm e em seguida briquetadas.

Os briquetes foram produzidos na empresa BIOMASSA localizada no município de Guarapuava - PR.

A briquetadeira (FIGURA 18) foi fabricada pelo proprietário da empresa. A mesma é do tipo rosca-sem-fim, possui motor com potência de 50 cv alimentado a diesel. Possui capacidade de fornecer 80 toneladas-força (tnf) e calor de 7200 Watts (W) através do eletrodo UTP Ducsteno 65 fixado na parte externa do canhão, o qual possui resistência de oxidação até 900 °C, dureza de aproximadamente 240 HB, corrente contínua ou alternada (70 A até 100 A).

FIGURA 18 - BRIQUETADEIRA UTILIZADA PARA REALIZAÇÃO DOS BRIQUETES.



FONTE: O Autor (2019).

3.7 DENSIDADE DOS BRIQUETES

A densidade dos briquetes foi determinada pelo método estereométrico, adaptado de Protásio (2011), utilizando-se a Equação 12.

$$d = m / (V_{total} - V_{interno}) \quad (12)$$

Onde:

d – Densidade (kg/m³)

m – Massa (kg)

V_{total} - Volume Total (m³)

V_{interno} – Volume Interno (m³)

Para determinar o volume total e o volume interno do briquete utilizou-se a equação para o volume de um cilindro, Equação 13.

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (13)$$

Onde:

v – Volume (m³)

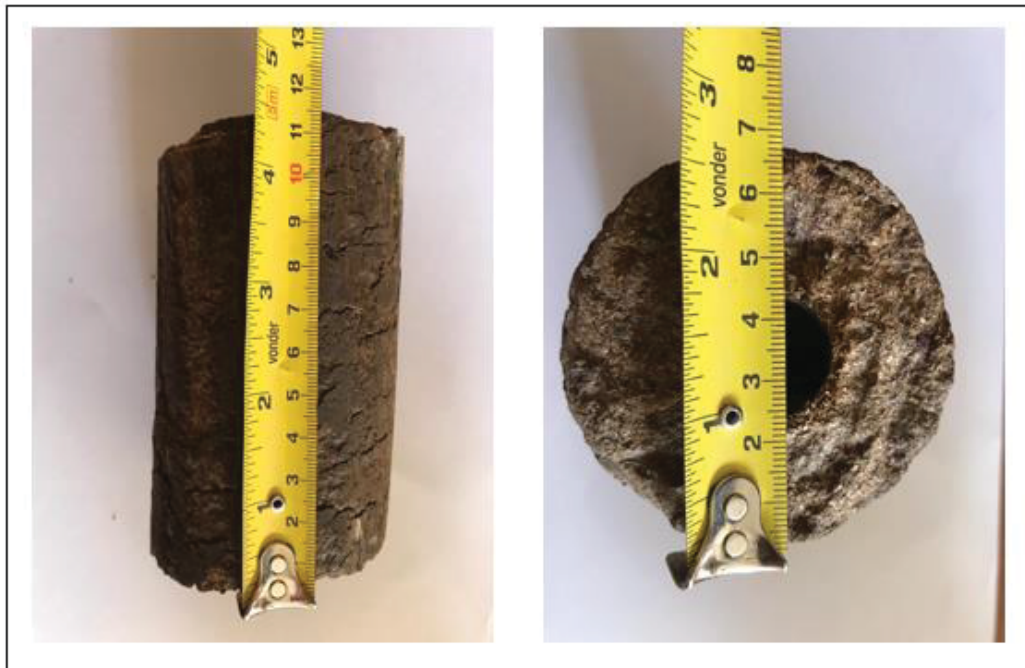
r – Raio (m)

h – altura (m)

A densidade aparente dos briquetes pode ser obtida em kg/m³. Seu volume foi calculado considerando sua forma cilíndrica, com um vazio ao centro. Utilizando uma fita métrica foi determinado o diâmetro externo e interno dos briquetes, sendo eles padronizados de acordo com o equipamento utilizado em sua fabricação, sendo 67 mm de diâmetro externo e 25 mm de diâmetro interno. A massa foi obtida em uma balança digital Marca Shimadzu, modelo BL 3200 H, máx. 3200 g e mín. 0,5 g.

Como a superfície dos briquetes é irregular, foi necessário realizar cortes com auxílio de uma faca com o objetivo de tornar a superfície mais regular para a análise. Para obtenção do volume foi subtraído o volume do vazio interno do briquete pelo volume total do briquete. As amostras utilizadas mediram 11 cm de altura (FIGURA 19).

FIGURA 19 – AMOSTRAS REALIZADAS PARA ANÁLISE DE DENSIDADE.



FONTE: O Autor (2019).

3.8 DENSIDADE ENERGÉTICA DOS BRIQUETES

A densidade energética foi calculada multiplicando-se o poder calorífico superior dos briquetes, pelos seus valores de densidade aparente.

3.9 ANÁLISE DE COMPRESSÃO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS

O valor da resistência à compressão axial foi determinado por meio da relação entre a área de cada briquete e sua resistência. O equipamento aplica uma força perpendicular ao comprimento do briquete por meio de um pistão, com velocidade de ensaio pré-estabelecida e determina a força da resistência desse material até a sua ruptura gerada por uma carga de tensão. Utilizou-se uma máquina de ensaio universal modelo 41 AGX, marca SHIMADZU (FIGURA 20), de 100 kN, do Laboratório de Física (UNICENTRO/CEDETEG). A velocidade de carregamento aplicada aos corpos de prova foi de 5 mm/min. O resultado de resistência à compressão foi determinado por um software acoplado ao equipamento. O procedimento de análise foi realizado de acordo com a metodologia NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpo cilíndrico (ABNT, 1994), uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes dessa natureza.

FIGURA 20 - MÁQUINA DE ENSAIO UNIVERSAL - 41 AGX, SHIMADZU



FONTE: O Autor (2019).

3.10 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental foi feito com base nos resultados encontrados na análise imediata, análise elementar e poder calorífico dos resíduos *in natura*.

Foram determinadas restrições (TABELA 3) para definir os valores percentuais das misturas das biomassas para produção de briquetes.

TABELA 3 - RESTRIÇÕES DOS VALORES DE BIOMASSA.

Restrições		
Bagaço De Cana	Bagaço De Mandioca	Cama De Aviário
30%>X>100%	5%>X>15%	30%>X>100%

FONTE: O Autor (2018).

Os valores percentuais foram definidos com base na característica de cada biomassa. O bagaço de cana e a cama de aviário, tiveram um *range* de mistura maior, quando comparado com o bagaço de mandioca. Isso porque são matérias primas mais acessíveis e de menor umidade quando *in natura*. O bagaço de mandioca, apresentou teor de umidade *in natura* superior a 85%, dificultando sua utilização. Por outro lado, o bagaço de mandioca é rico em amido, sendo de grande importância na produção dos briquetes atuando como material aglutinante.

Na TABELA 4 seguem os valores percentuais de misturas, para as três biomassas residuais utilizadas.

TABELA 4 - VALORES PERCENTUAIS PARA AS TRÊS BIOMASSAS UTILIZADAS

Mistura	Bagaço De Cana (%)	Bagaço De Mandioca (%)	Cama De Aviário (%)
M1	30	5	65
M2	42,5	15	42,5
M3	65	5	30

FONTE: O Autor (2019).

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando 3 tratamentos (tipo de briquete) e 3 repetições para cada variável estudada.

Para verificação de diferenças estatísticas entre as amostras, os dados obtidos foram submetidos ao Teste F por meio da análise de variância (ANOVA). Quando identificadas diferenças significativas na ANOVA, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Os dados foram analisados com o auxílio do software SPSS, versão 20.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DOS COPRODUTOS *IN NATURA*

O teor de umidade é um fator de grande importância no uso da biomassa como combustível, pois apresenta uma relação inversa com o poder calorífico, prejudica o armazenamento, uma vez que pode ocasionar a proliferação de fungos e a degradação do material; além de elevar os custos de transporte.

Foi determinado o teor de umidade dos coprodutos *in natura* (TABELA 5), para que fosse possível determinar como seria realizado o processamento do material para a briquetagem.

O bagaço de mandioca apresentou um teor de umidade de 90,41 %, o bagaço de cana-de-açúcar apresentou um teor de 46,17 %, e a cama de aviário apresentou um baixo teor de umidade sendo de 17,84 %, favorável para a produção de briquetes.

TABELA 5 - TEOR DE UMIDADE PARA AS BIOMASSAS *IN NATURA*.

Tipo de Biomassa	Umidade <i>in natura</i> - bu (%)
Bagaço de mandioca	90
Bagaço de cana-de-açúcar	46
Cama de aviário	17

FONTE: O Autor (2018).

A secagem do bagaço de mandioca diretamente em estufa representaria um elevado gasto energético. Assim foi necessário submeter o bagaço de mandioca a centrifugação para reduzir o teor de umidade e posterior secagem em estufa, assim como o bagaço de cana-de-açúcar e cama de aviário.

4.2 ANÁLISE IMEDIATA DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM

Na TABELA 6, observa-se os teores de Umidade, Carbono Fixo, Materiais Voláteis e Cinzas para o bagaço de mandioca e de cana-de-açúcar e para a cama de aviário.

TABELA 6 - ANÁLISE IMEDIATA PARA O BAGAÇO DE MANDIOCA E DE CANA-DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO APÓS SECAGEM.

Amostra	U (%)	CF (%)	MV (%)	CZ (%)
BC	5,42	13,96	80,98	5,06
BM	11,30	16,88	81,68	1,44
CA	1,34	15,88	64,07	20,05

FONTE: O Autor (2018).

Os resultados obtidos para bagaço de mandioca foram de mesma ordem de grandeza dos obtidos por Pattiya et al. (2010), que relata valores de 8,3 % para umidade, 3,7 % para o teor de cinzas, 16,7 % para carbono fixo e 71,3 % para material volátil. Já para Zanatta (2012), os valores encontrados foram 7,6 % para umidade, 81,7 % para teor de voláteis, 9,7 % teor de carbono fixo e 1,0 % para o teor de cinzas. Pode-se observar maior diferença no teor de carbono fixo entre os autores e o presente trabalho. O teor de cinzas encontrado na biomassa é considerado excelente para combustão do material.

Os resultados para ao bagaço de cana-de-açúcar obtidos foram de mesma ordem de grandeza dos obtidos por Zanatta (2012), que verificou valor de 7,2 % para umidade, 82,5 % para materiais voláteis, 9,3 % para teor de carbono fixo e 0,9 % teor de cinzas. Já Brand (2010), encontrou 14,95 % para teor de carbono fixo, 11,27 % para teor de cinzas, e 73,78 % para voláteis. Em relação a umidade, ela depende muito do tempo de exposição, coleta e armazenamento do bagaço de cana-de-açúcar para análise. As variações encontradas se devem as diferentes condições climáticas e cultivos da cultura.

Segundo (Paula et al., 2011) a análise do teor de cinzas nos combustíveis de biomassa é imprescindível na avaliação energética desses materiais, uma vez que altos teores de cinza contribuem para a redução do poder calorífico, visto que os materiais minerais não participam do processo de combustão. Nesse sentido segundo (Brand, 2010) altos teores de cinzas em combustíveis podem resultar em emissão de partículas através das chaminés de caldeiras, tornando necessária a instalação de equipamentos para separação de partículas dos gases da combustão.

Para a cama de aviário observa-se um elevado teor de cinzas, 20,05 % quando comparado com outros coprodutos. Segundo Brand (2010) para a cama de aviário o teor de cinza foi de 23,4 %, teor de carbono fixo de 13,87 % e teor de voláteis de 62,73 %. A cama de aviário, por ser um material polidisperso e possuir outros materiais em sua composição além de serragem, como dejetos, penas de aves e ração, apresentem um valor inferior de carbono e justificando elevado teor de cinzas

(Neitzke, 2010). O valor de cinzas encontrados no presente trabalho foi inferior ao da literatura, já para carbono fixo e voláteis não apresentou grande variação. Essa diferença na composição, se deve às diferenças de regiões a qual foi coletada a amostra de cama de aviário, assim como a quantidade de lotes da cama, ou seja, a quantidade de vezes que a maravalha foi aproveitada.

4.3 ANÁLISE ELEMENTAR DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM

Na TABELA 7 tem-se os resultados encontrados na análise elementar (determinação das porcentagens de C, H e O) para as amostras.

TABELA 7 - TEORES DE HIDROGÊNIO, CARBONO E OXIGÊNIO DO BAGAÇO DE MANDIOCA, E DE CANA-DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO.

Amostra	H (%)	C (%)	O (%)
BC	5,75	45,74	42,79
BM	5,94	47,91	44,01
CA	4,80	39,27	35,32

FONTE: O Autor (2018).

Foi possível observar no presente trabalho que o bagaço de mandioca (BM) apresentou maior teor de carbono (47,91 %) e hidrogênio (5,94 %) produzindo assim maior quantidade de energia (TABELA 7) quando queimado comparado com os outros coprodutos. Ao comparar com a literatura, Zanatta (2012) encontrou os teores; Carbono (40,4 %); Hidrogênio (6,8 %); Oxigênio (52,8%) para o bagaço de mandioca. Os valores encontrados são próximos aos valores da literatura, mostrando assim que os resultados encontrados foram coerentes.

O bagaço de cana (BC) apresentou relação C/H similar ao bagaço de mandioca, se mostrando um coproduto com elevada quantidade de energia liberada quando queimado. Em estudo realizado por Zanatta (2012), os teores encontrados para bagaço de cana foram 22,6 % para o teor de Carbono, 2,7% para o teor de Hidrogênio e 74,6 % de Oxigênio. Já Ramos e Paula (2010) encontraram 45,3 % para o teor de Carbono, 6,8 % para Hidrogênio e 47,1 % para Oxigênio. Pode-se observar que houve menor divergência nos teores para o segundo autor citado, comparado ao trabalho apresentado, mostrando assim um resultado positivo.

A cama de aviário apresentou baixo teor de hidrogênio (4,79 %), fato esse indesejável quando se visa a produção de energia, pois pequenos acréscimos no teor de hidrogênio promovem elevado ganho no valor calórico dos combustíveis de

biomassa. Assim, compostos orgânicos que contenham maiores teores de carbono e hidrogênio liberam maior quantidade de energia quando queimados. Segundo Neitzke (2010), os valores médios encontrados para cama de aviário foram de 5,26 % para Hidrogênio, 37,53 % para teor de Carbono e 35,69 % para o teor de Oxigênio, sendo esses valores muito próximos aos encontrados no presente trabalho.

4.4 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DOS COPRODUTOS APÓS SECAGEM

Na tabela 8 observa-se os valores de Poder Calorífico Superior, Poder Calorífico Inferior e Poder Calorífico Útil para as amostras.

TABELA 8 - PODER CALORÍFICO PARA BAGAÇO DE MANDIOCA, E DE CANA-DE-AÇÚCAR E PARA A CAMA DE AVIÁRIO.

Amostra	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	PCU (MJ/kg)
BC	17,52	16,22	15,21
BM	18,69	17,35	15,10
CA	15,45	14,36	14,14

FONTE: O Autor (2018).

O fator que tem maior influência sobre o poder calorífico é a umidade. Assim está dentre as principais vantagens dos combustíveis densificados quando comparados a lenha, além do menor volume e poder calorífico elevado. Tem-se dessa forma uma maior quantidade de energia por volume reduzindo pátio de estocagem e equipamentos de queima (MORAES, 2007).

Para bagaço de mandioca (BM) o poder calorífico superior encontrado foi de 18,69 MJ/kg, o maior valor dentre os coprodutos analisados. Para Zanatta (2012), o valor de PCS encontrado foi de 15,27 MJ/kg. Pode-se dizer que o bagaço de mandioca se apresenta como uma excelente fonte de energia, quando comparado a outros tipos de biomassas. Segundo Alves (2014) em seu estudo sobre o potencial energético de resíduos de produção agrícola, após briquetagem obteve poder calorífico superior de 16,73 MJ/kg para o bagaço de mandioca, 18,89 MJ/kg para maniva de mandioca, 18,92 MJ/kg para sabugo de milho e 18,44 MJ/kg para palha de milho.

Para o bagaço de cana (BM) foi encontrado um poder calorífico superior de 17,52 MJ/kg. Segundo Zanatta (2012), o valor de PCS encontrado para esse coproduto foi de 16,10 MJ/kg. Para Brand (2010), o valor de PCS encontrado foi de 16,31 MJ/kg. MAROZZI (2012) encontrou valores similares de poder calorífico

superior (17,89 MJ/kg). O valor encontrado mostrou como o bagaço de cana pode ser uma excelente fonte de energia, e quando reduzida sua umidade e densificado eleva sua densidade energética.

O poder calorífico superior encontrado para cama de aviário foi de 15,45 MJ/kg. Segundo Brand (2010), o valor encontrado para PCS foi de 14,85 MJ/kg. O valor encontrado foi o menor dentre os coprodutos estudados, em função da composição química do material, principalmente ao elevado teor de cinzas (20,05%) e também as diferentes condições de regiões, coleta e armazenamento do coproduto.

4.5 BRIQUETAGEM

Na FIGURA 21 pode-se observar as misturas M1, M2 e M3, respectivamente, antes do processo de briquetagem.

FIGURA 21 - MISTURA DOS MATERIAIS (M1,M2 E M3).



FONTE: O Autor (2019).

Na sequência, foi feita a moagem das misturas, para então realizar o processo de briquetagem.

Para o processo de produção dos briquetes, a matéria-prima foi compactada em uma briquetadeira do tipo “rosca sem fim”, sendo os briquetes fabricados com um orifício ao centro. Segundo o proprietário, e operador do equipamento neste processo os resíduos são prensados a ± 400 °C.

Com os briquetes já produzidos foram realizadas as análises propostas para caracterizar os briquetes segundo as características físico-químicas e energéticas.

Os briquetes apresentam o diâmetro de 67 mm e um espaço vazio no centro de 25 mm de diâmetro. Os briquetes M1, M2 e M3 podem ser observados na FIGURA 22. Essas medidas são características do equipamento utilizado.

FIGURA 22 – BRIQUETES PRODUZIDOS PARA AS MISTURAS (M1, M2 E M3).



FONTE: O Autor (2019).

A partir desses briquetes foi possível fazer as análises sugeridas no presente trabalho, onde é possível avaliar sua viabilidade.

4.6 ANÁLISE IMEDIATA PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS

Os briquetes foram submetidos a análise imediata (determinação dos teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas). Os resultados podem ser verificados na TABELA 9.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE IMEDIATA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

Amostra	U (%)	CF (%)	MV (%)	CZ (%)
M1	2,85(a)	14,33(a)	65,35(a)	13,64(b)
M2	4,78(b)	14,23(a)	75,46(a)	7,96 (a)
M3	4,54(b)	15,04 (a)	72,84(a)	10,77(a)

* Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O Autor (2019).

Aplicando-se o teste de Tukey a 5% de significância foi possível concluir que os briquetes M2 e M3 não apresentaram diferenças estatísticas nos parâmetros umidade, carbono fixo, voláteis e cinzas. Já o briquete M1 apresentou diferenças estatísticas no teor de umidade (U%) e cinzas (CZ%) quando comparado com M2 e M3. Isso se deve ao elevado teor de cama de aviário (65%) utilizado na mistura M1, influenciando diretamente nos parâmetros umidade (U%) e cinzas (CZ%), também foi observado menor relação de carbono fixo (CF%) e materiais voláteis (MV%) para essa mistura (M1). Para os teores de materiais voláteis (MV%) e carbono fixo (CF%) não houve diferença estatística entre os briquetes produzidos.

Segundo Gonçalves, Sartori e Leão (2009), o teor de voláteis indica a porcentagem de materiais com potencial de geração de calor e o teor de cinzas corresponde à porcentagem de material que não produz calor. Portanto, o teor de voláteis e o teor de cinzas fornecem informações aproximadas da combustibilidade dos resíduos, sendo um fator importante para o processo de briquetagem.

Podemos observar que a mistura M2 apresentou menor teor de carbono fixo (14,23 %) maior teor de voláteis (75,46 %) e o menor teor de cinzas (7,96 %). Isso ocorre devido maior teor de bagaço de mandioca (BM) (15 %) dentre as outras misturas. Por apresentar alto poder calorífico facilita a combustão do material e eleva a temperatura. Já o teor de cinzas foi o menor encontrado em função da composição química do coproduto.

Observando a TABELA 9 pode-se concluir que a mistura M1 possui menor valor de voláteis (65,35%), em contrapartida, possui maior valor de teor de cinzas

(13,64%). Esses valores podem estar associados a quantidade de cama de aviário utilizado na mistura, sendo que o mesmo já possui essas características individualmente quando comparado aos outros materiais utilizados.

Ao analisarmos outros estudos realizados pela literatura, segundo Protásio et al. (2012) briquetes produzidos de resíduos do processamento dos grãos de café submetidos aos processos de carbonização e torrefação, obtiveram valores de 22 %, 69 % e 8 % de teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e teor de cinzas respectivamente para briquetes carbonizados. Pode-se observar que os valores encontrados para briquetes carbonizados são distintos dos encontrados no presente trabalho, apresentando menor teor de materiais voláteis e maior teor de carbono fixo, em função do processo de carbonização.

Em pesquisa realizada por Souza et al., (2015) analisaram briquetes produzidos com 40 % de serragem de madeira e 60 % de borra de café e determinou o teor de voláteis de 85,84 % e de cinzas de 5,17 %. Pode-se observar valores mais próximos aos encontrados no presente estudo, ainda que um teor de cinzas inferior ao entrado na presente pesquisa.

4.7 ANÁLISE ELEMENTAR PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS

Na sequência foi realizada a estimativa da composição elementar dos briquetes (determinação das porcentagens de C, H e O). Pode-se observar na TABELA 10 os valores médios para cada mistura.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS DA ANÁLISE ELEMENTAR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

Amostra	H (%)	C (%)	O (%)
M1	4,95 (b)	40,13 (b)	36,63 (b)
M2	6,89 (a)	55,52 (a)	51,06 (a)
M3	5,89 (ab)	47,50 (ab)	43,62 (ab)

* Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O Autor (2019).

Aplicando-se o teste de Tukey a 5% de significância foi possível concluir que os briquetes M1, M2 e M3 apresentaram diferenças estatísticas entre si, nos parâmetros Hidrogênio, Carbono e Oxigênio. As variações nas misturas dos coprodutos influenciaram diretamente na composição.

A mistura M2 é a que possui maior percentual de C (55,52 %) e H (6,89 %), sendo assim, possui maior potencial energético na queima por apresentar maior proporção de bagaço de mandioca em sua mistura. Já para M1 o teor de carbono (40,13 %) e hidrogênio (4,95 %) foram os menores encontrados, devido maior teor de cama de aviário (65 %), reduzindo o potencial energético da mistura. Conforme Protásio et al., (2011) compostos orgânicos que contenham teores de carbono e hidrogênio maiores, possuem maior quantidade de energia quando queimados.

4.8 DETERMINAÇÃO DO PODER CARÍFICO PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS

Foi estimado o poder calorífico superior, inferior e útil dos briquetes e os valores médios são apresentados na TABELA 11.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR, INFERIOR E ÚTIL DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

Amostra	PCS (MJ/kg)	PCI (MJ/kg)	PCU (MJ/kg)
M1	13,88 (a)	12,89 (a)	12,42 (a)
M2	16,41 (a)	15,22 (a)	14,39 (a)
M3	16,85 (a)	15,63 (a)	14,77 (a)

* Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: O Autor (2019).

Aplicando-se o teste de Tukey a 5% de significância pode-se concluir que os briquetes M1, M2 e M3 não apresentaram diferenças estatísticas nos parâmetros poder calorífico superior, inferior e útil.

Segundo Vieira (2012), o poder calorífico superior (PCS) indica a quantidade de energia liberada durante a transferência de calor, ou seja, quanto maior o poder calorífico mais energia liberada em sua queima. Com isso, pode-se observar na TABELA 11 que a mistura M3 é a que possui maior poder calorífico. Isso se dá pelas porcentagens dos coprodutos utilizados, considerando a cana-de-açúcar e o bagaço de mandioca como excelentes fontes de energia (Zanatta, 2012). A mistura M2 está muito semelhante e com poder calorífico superior, inferior e útil próximo a M3. Já a mistura M1 é a que apresentou menor poder calorífico, levando em consideração o poder calorífico da cama de aviário individualmente, pode-se dizer que esse resultado se dá pela mistura possuir um elevado percentual desse material.

Assim como ocorreu com o poder calorífico superior, o poder calorífico inferior foi crescente à medida que aumentou a porcentagem de bagaço de mandioca e bagaço de cana ao briquete. Devido a esse aumento, o briquete M2 que possui 15 % de bagaço de mandioca, apresentou vantagens do ponto de vista energético.

Observado resultados encontrados pela literatura Silva et al., (2018), os valores de PCS para o briquete produzido com o aglutinante de amido de milho foi de 18,56 MJ/kg e com o aglutinante de papel foi de 18,11 MJ/kg, tais resultados se apresentam superiores ao encontrado no presente trabalho. Martins et al., (2016) ao analisar briquetes feitos a partir de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico e amido de milho, encontrou valores de PCS de 19,62 MJ/kg para os briquetes com resíduo celulósico e de 18,30 MJ/kg para os briquetes contendo amido.

Protásio et al. (2011), realizou a compactação de briquetes de serragem de eucalipto e obteve poder calorífico superior de 18,46 MJ/kg e também realizou a compactação de briquetes de resíduos de milho e obteve poder calorífico superior de 18,89 MJ/kg. Valores esses maiores que os encontrados no presente trabalho para M1, M2 e M3, mostrando assim que a utilização de matéria prima de origem florestal contribui no aumento do poder calorífico do briquete.

Ao observarmos resultados encontrados pela empresa TEC - Tecnologia em Calor LTDA, podemos comparar os valores de poder calorífico inferior da lenha (40% umidade) que apresentou 10,04 MJ/kg e lenha seca (12% umidade) que apresentou 15,39 MJ/kg. Podemos observar que a lenha seca apresentou valor próximo de poder calorífico inferior para M2 e M3, e valor inferior a M1. Já quando comparamos com a lenha com 40% de umidade, observamos que os briquetes produzidos apresentaram para mistura M1, M2 e M3 valores superiores de poder calorífico inferior. Vale e Gentil (2008) afirmaram que, em comparação com a lenha, seu concorrente direto, o briquete possui maior densidade energética, tem maior rapidez na geração de temperatura e calor, proporciona redução dos custos de transporte, proporciona menor custo de manuseio, infraestrutura de armazenamento, movimentação, mão-de-obra, encargos sociais e maior apelo ambiental por ser produzido de resíduos.

4.9 DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA

Os briquetes também foram submetidos à análise de densidade aparente e energética. A densidade energética dos briquetes foi calculada multiplicando-se o

poder calorífico superior pelos seus valores de densidade aparente. Os resultados podem ser verificados na TABELA 12.

TABELA 12 - DENSIDADE APARENTE E DENSIDADE ENERGÉTICA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

Amostra	Densidade aparente (kg/m ³)	Densidade energética (MJ/m ³)
M1	1230,57(a)	17080,31(b)
M2	1240,88(a)	20362,84(a)
M3	1153,25(b)	19432,26(a)
Desvio padrão	36,65	1252,10

FONTE: O Autor (2019).

A densidade aparente dos briquetes no Brasil, segundo Gentil (2008) varia de 1.000 kg/m³ a 1.400 kg/m³. Os resultados encontrados para M1, M2 e M3 ficaram dentro dos valores citados por Gentil (2008). Pimenta et al. (2015) encontrou valor de densidade aparente entre 660 kg/m³ e 710 kg/m³ para briquetes fabricados a partir de carvão de cascas de coco utilizando amido e argila como aglutinante, sendo valores inferiores aos encontrados no presente trabalho.

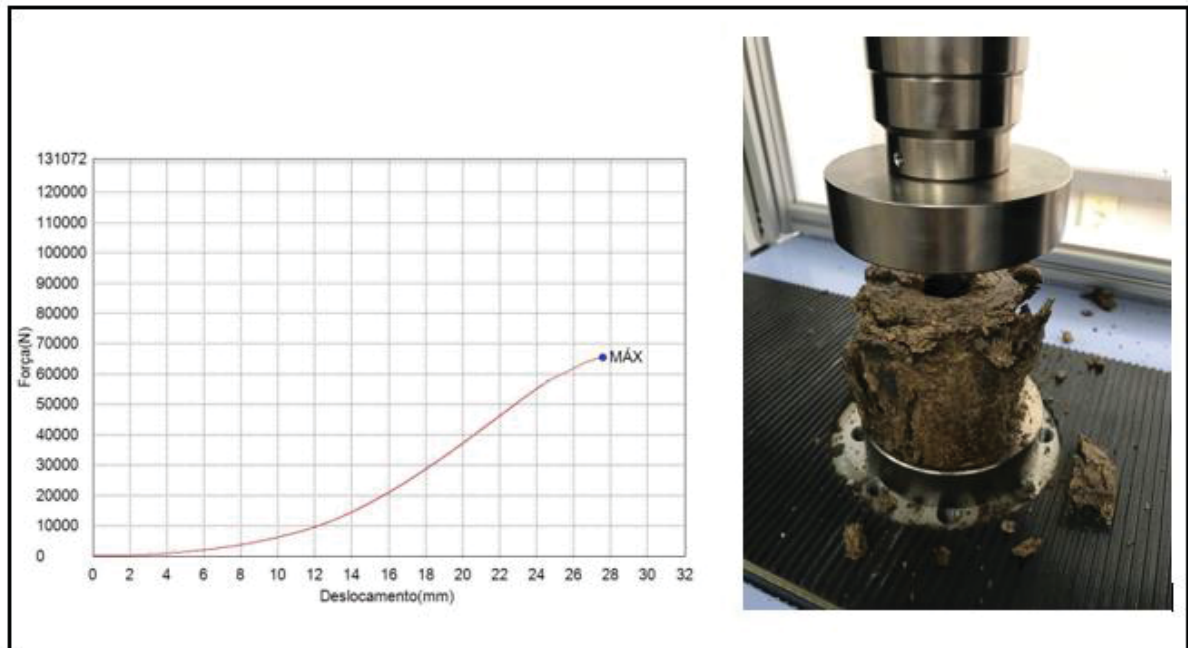
Podemos observar que a amostra M2 apresentou maior densidade aparente (1.240,88 kg/m³) e maior densidade energética (20.362,84 MJ/m³) podendo ser justificado pelo maior teor de bagaço de mandioca, que em análise *in natura* apresentou elevado poder calorífico além de que é utilizado como material ligante pelo rico teor de amido. Já a amostra M1 apresentou elevada densidade aparente (1.230,57 kg/m³) em contrapartida um valor inferior de densidade energética (17.080,31 MJ/kg) devido ao baixo poder calorífico encontrado em sua mistura e elevado teor de cama de aviário. A mistura M3 apresentou a menor densidade aparente (1.153,25 kg/m³), porém sua densidade energética (19.432,26 MJ/kg) foi maior que a M1 por apresentar poder calorífico elevado, maior teor de bagaço de cana e menor teor de cama de aviário.

Os resultados encontrados para densidade aparente estão de acordo com Quirino & Brito (1991) que encontraram densidades variando de 690 a 990 kg/m³, para briquetes produzidos com carvão vegetal misturado à serragem, carvão mineral, nitrato, cinzas e aglomerante e superiores aos determinados por Silva (2007), que encontrou densidade aparente média de 510 kg/m³.

4.10 ANÁLISE DE COMPRESSÃO PARA OS BRIQUETES PRODUZIDOS

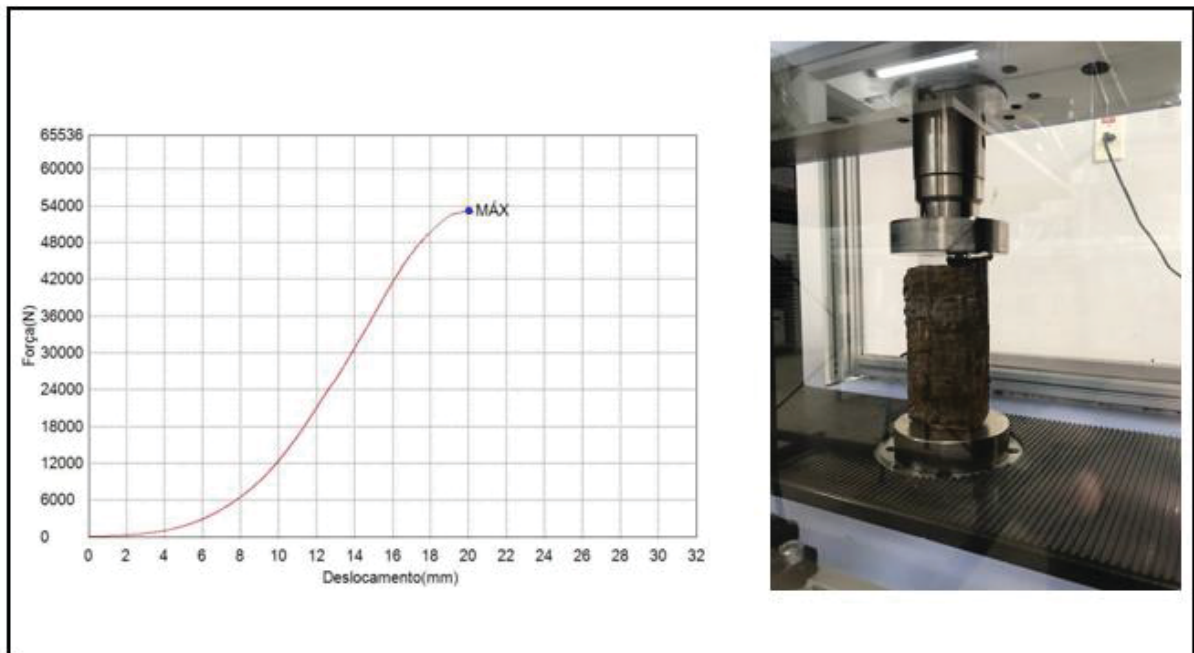
Seguem as FIGURAS 23, 24, e 25 com os resultados do teste de compressão, apresentando suas respectivas forças máxima (N) e tensão máxima (N/mm – kgf/cm²) e os briquetes sendo submetidos a análise.

FIGURA 23 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M1.



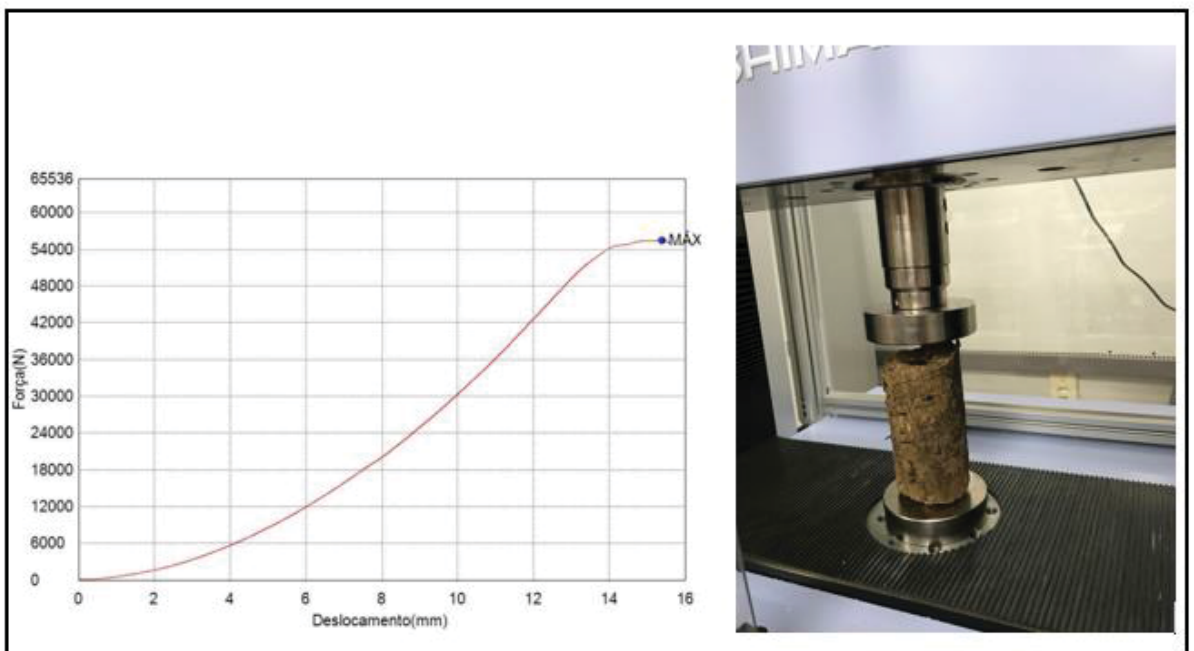
FONTE: O Autor (2019).

FIGURA 24 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M2.



FONTE: O Autor (2019).

FIGURA 25 - ANÁLISE DE COMPRESSÃO AMOSTRA M3.



FONTE: O Autor (2019).

Na TABELA 13 pode-se observar os valores obtidos no teste de compressibilidade para cada briquete.

TABELA 13 - RESULTADOS TESTE DE COMPRESSIBILIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

	Força Máxima	Tensão Máxima	Tensão Máxima	Deslocamento
	(N)	(N/mm²)	(Kgf/cm²)	(mm)
M1	65579,00	18,15	185,09	28
M2	53125,00	14,70	149,94	20
M3	55464,10	15,35	156,54	15
Média	58056,00	16,06	163,86	21

FONTE: O Autor (2019).

O briquete M1 apresentou maior resistência com uma força máxima e tensão máxima superior a outras amostras. Já as amostras M2 e M3 apresentaram semelhança no teste, apresentando diferenças apenas em seu deslocamento.

Segundo Oliveira et al, (2017) briquetes produzidos a partir do lodo de esgoto e finos de carvão vegetal apresentaram resistência mecânica com valores entre 210 e 420 kgf/cm². Esses valores são acima da média entre os produzidos neste estudo.

Teixeira et al. (2010) descrevem que briquetes com resistência mecânica superior a 71,38 kgf/cm² são considerados bons, pois a partir dessa resistência, podem ser manipulados e armazenados sem que ocorra grande fragmentação. Dessa forma os briquetes M1, M2 e M3 apresentaram um valor de tensão máxima acima de 71,38 kgf/cm², se mostrado de resistência considerável.

Quirino & Brito (1991), estudando briquetes produzidos com carvão vegetal misturado a serragem, carvão mineral, nitrato, cinzas e aglomerante, encontraram resistência à compressão média de 31,71 kgf/cm², valor este inferior aos determinados neste estudo. Fontes et al. (1984) encontraram 183,76 kgf/cm², 245,74 kgf/cm² e 229,70 kgf/cm², para briquetes produzidos a partir de carvão vegetal e resina termoplástica sintética, resina termoplástica natural e resina termorrígida, respectivamente.

Concluindo assim que a resistência mecânica dos briquetes é afetada pelo tipo de matéria-prima, além das quantidades de umidade e aglutinante na composição. No presente trabalho não foi utilizado aglutinante artificial, apenas bagaço de mandioca que pode ser utilizado como aglutinante natural por possuir elevado teor de amido na sua composição.

4.11 RESULTADOS COMPARADOS AS NORMAS INTERNACIONAIS

O mercado europeu se destaca na normatização de briquetes e pellets, com objetivo de garantir a uniformidade do produto visando o benefício de seus consumidores (Dias et al., 2012). As normas foram implementadas isoladamente na Alemanha, Áustria e Suécia, com normatizações individuais, apresentando assim diferenças em diversos parâmetros de qualidade. Essas divergências nos parâmetros dificultou o atendimento para países exportadores que visavam o mercado europeu. Dessa forma o Comitê Europeu de Normatização (CEN) promoveu a uniformização das normas em todo continente.

Na Alemanha visando a qualidade do produto, os parâmetros estabelecidos pelas normas são extremamente rigorosos estabelecendo valores máximos para eles. Na TABELA 14 podemos observar as normas da Alemanha para produção de briquetes.

TABELA 14 - PADRÕES DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE BRIQUETES NA ALEMANHA.

Critério	Unidade	DIN Plus briquete	Briquetes produzidos		
			M1	M2	M3
Dimensão	mm	Especificar diâmetro, largura e comprimento	Diâmetro=67mm Diâmetro interno=22mm		
Umidade	% em peso	≤ 12	M1=2,85	M2=4,78	M3=4,54
Teor de cinzas	% em peso	≤ 0,7	M1=13,64	M2=7,96	M3=10,77
Densidade da partícula	g/cm ³	≥ 1,0	M1=1,23	M2=1,24	M3=1,15
Poder Calorífico	MJ / kg	≥ 16,5 a ≥ 19,0	M1=13,88	M2=16,41	M3=16,85

Fonte: Adaptada de DIN CERTCO, 2015.

Ao compararmos os resultados encontrados com as normas da Alemanha, os briquetes M1, M2 e M3 atenderam aos parâmetros umidade e densidade da partícula. Para o poder calorífico apenas M3 (16,85 MJ/kg) atendeu ao parâmetro, sendo o único que está entre os teores exigidos na norma (≥ 16,5 a ≥ 19,0). Já para os valores de cinzas nenhum briquete atendeu a normatização alemã, pois todos estão acima de 0,7%.

Podemos observar os padrões para produção de briquetes para Europa na TABELA 15.

TABELA 15 - PADRÕES DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DE BRIQUETES, CERTIFICAÇÃO ENPLUS®

Propriedade	Unidade	EN plus A1	EN plus A2	Briquetes produzidos		
				M1	M2	M3
Umidade	% do Peso	≤ 12	≤ 15	M1=2,85	M2=4,78	M3=4,54
Composição de cinzas	% do Peso	≤ 1,0	≤ 1,5	M1=13,64	M2=7,96	M3=10,77
Densidade de partículas	g / cm ³	≥ 1,0	≥ 0,9	M1=1,23	M2=1,24	M3=1,15
Poder calorífico	MJ / kg	≥ 15,5	≥ 15,3	M1=13,88	M2=16,41	M3=16,85

Fonte: Adaptada de European Pellet Council; Associação Européia de Biomassa, 2015.

A norma de Certificação ENPLUS enquadra inúmeros parâmetros, como Azoto, Enxofre, Cloro, Arsênio, Cadmio Cromo, Cobre, Chumbo, Mercúrio entre outros. Na presente pesquisa foram abordados apenas as propriedades analisadas. Ao comparar os valores obtidos dos briquetes produzidos no presente trabalho com a norma europeia, pode-se observar que os briquetes produzidos seguem a normatização para alguns parâmetros, sendo esses umidade e densidade das partículas, onde M1, M2 e M3 atendem a normatização. Já para o poder calorífico apenas M2 e M3 se encaixam nos padrões. Com relação ao teor de cinzas nenhum briquete possui resultado satisfatório quando comparado aos valores apresentados na norma acima.

Dessa forma conclui-se que os briquetes produzidos não atendem as normas da Alemanha e Europa, em função do elevado teor de cinzas.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados para Bagaço de mandioca se mostraram favorável, por apresentar um baixo teor de cinzas e elevado poder calorífico. Esse material será primordial na formação dos briquetes, atuando como material aglutinante. Apesar de que *in natura* apresenta teor de umidade acima de 85%, necessitando de um processo de secagem específico, conseqüentemente gerando um maior gasto energético.

Para o bagaço de cana-de-açúcar, os teores encontrados foram satisfatórios, em relação a umidade e poder calorífico. O teor de cinzas encontrado foi menor dos valores encontrados na literatura.

A cama de aviário apresentou elevado teor de cinzas, próximo a 20 %, tornando duvidosa sua utilização para geração de energia com a produção de briquetes. Porém, visando a poluição ambiental, em regiões de grande produção de frango, pode transformar resíduo em matéria prima.

Em relação a resistência mecânica os briquetes M1, M2 e M3 apresentaram um valor de tensão máxima acima de 71,38 kgf/cm², se mostrado de resistência considerável.

Em relação a densidade aparente e energética encontrada para os briquetes, foram encontrados valores coerentes com a literatura, sendo eles satisfatórios para geração de energia utilizando briquetes.

A mistura que obteve melhor eficiência energética foi o briquete produzido a partir da mistura M2, o qual apresentou um poder calorífico de 16,41 MJ/kg e em contrapartida o menor teor de cinzas (7,96 %), o que apresentou melhor relação C/H, H (6,89 %) e C (55,53 %), dessa forma possui maior potencial energético de queima.

Conclui-se que existem muitas vantagens no uso de briquetes em relação à lenha. Devido à baixa umidade dos briquetes, a temperatura se eleva rapidamente, produzindo menos fumaça, cinza e fuligem; não danifica a fornalha no manuseio de abastecimento; possui um custo menor; seu produto é 100% reciclado e ecológico; necessita de um estoque menor, já que o produto é seco e pronto para o uso; seu formato geométrico facilita o transporte, manipulação e armazenamento; auxilia na redução do impacto ambiental, principalmente sobre as florestas nativas, para retirada da lenha; tem um índice menor de poluição, pois se trata de um combustível renovável;

não exige regulamentações ambientais pelos órgãos Federal, Estadual e Municipal e detêm um poder calorífico maior.

Já as vantagens na utilização da biomassa residual para produção de energia, pode ser citado o fato de ser renovável e permitir o aproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como petróleo e carvão. O briquete se mostra como um forte aliado no combate à destinação inadequada de resíduos no meio ambiente, além de garantir maior competitividade para as empresas, aumentando o espaço disponível para a ampliação da instalação.

Esses resultados confirmam que a utilização dos resíduos agroindustriais para a produção de briquetes como fonte energética contribuem quanto aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, reduzindo o desperdício de matéria prima e incentivando a utilização de bioenergia. Sugere-se que sejam feitos novos estudos buscando quantificar os gases gerados na combustão, caracterizar as cinzas residuais além da viabilidade econômica desse processo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Perspectivas mundiais de energia 2011**. Paris, 2011.
- ABREU, P. H. F. **Formas de aproveitamento do resíduo da madeira**. 2005. 46p. UEM, Maringá, 2005.
- ABRAF. Associação Brasileira De Produtores De Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012**, ed. São Paulo. Brasília: 2012. 42- 43 p.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2018**. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- AIRES, A.M.A. **Biodigestão anaeróbia da cama de aviários de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009.
- ASTM Standard. E870-82. **Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels**. 2006.DOI: 10.1520/E0870-82R06.
- BESLEY, L. **Importance, variation and measurement of wood density and moisture**. Canada: Pulp and Paper Research Institute of Canada, 1966.
- BEPPU, J, G, U. **Produção e avaliação de briquetes artesanais sem e com adição de óleo residual de fritura**. 2016. 41p., IFMT, Campus Cáceres, 2016.
- BRAND, M. A. **Energia de Biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114 p.
- BRAND, M. A. et al. **Influência da pressão e material nas propriedades de briquetes de biomassa florestal**. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. Anais... Colombo: Embrapa Florestas, 2009. (Embrapa Florestas. Documentos, 178).
- BHATTACHARYA, S. C.; SETT, S.; SHRESHTHA, R. M. **State of art for biomass densification**. Energy Sources, Bristol, v. 11, n. 3, p. 161-182,1989.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **A geração termelétrica com a queima do bagaço de cana-de-açúcar no Brasil**. Brasília, DF, 2011.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira da Cana-de-Açúcar - 2018**. Disponível em: < <file:///D:/Downloads/BoletimZCanaZ1ZLevantamentoZ18-19.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira da Cana-de-Açúcar - 2019**. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/BoletimZCanaZ4ZLevantamentoZ18-19.pdf>. Acesso em: 15 agosto. 2019.

CAMARGO K. F.; LEONEL M.; MISCHAN M. M. **Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CHEN, L. J.; XING, L.; HANA, L.; **Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology**. Renewable & Sustainable Energy Reviews, Oxford, U.K., v.13, n.9, p.2689-2695, Dec. 2009.

COSTA, L. V. C. **Produção de biogás utilizando cama de aviário diluída em água e em biofertilizante de dejetos suínos**. 2012. 75f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2012.

DEMIRBAS, A.; SAHIN-DEMIIBAS, A.; DEMIBAS, A.H. **Briquetting properties of biomass waste materials**. Energy Sources, Philadelphia, v.26, n.1, p.83-91, 2004.

DEMIRBAS, A. **Combustion characteristics of different biomass fuels. Progress in energy and combustion science**. Turquia: Elsevier, v. 30, p. 219-230, 2004.

DE OLIVEIRA, R. S.; PALÁCIO, S. M.; DA SILVA, E. A.; MARIANI, F. Q.; REINEHR, T. O. **Briquettes production for use as power source for combustion using charcoal thin waste and sanitary sewage sludge**. Environmental Science and Pollution Research, v.24, n.11, p.10778-10785, 2017.

DIAS, J. M. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.

DIN CERTCO. **Certification scheme wood briquettes**. Berlim, Junho de 2015.

DHILLON, R.S.; VON WUEHLISCH, George. **Mitigation of global warming through renewable biomass**. Biomass and Bioenergy, v. 48, p.75-89. 2013.

EDENHOFER, O.; PICHS-MADRUGA, R.; SOKONA, Y.; SEYBOTH, K.; MATSCHOSS, P.; KADNER, S.; ZWICKEL, T.; EICKEMEIER, P.; HANSEN, G.; SCHLOEMER, S.; VON STECHOW, C. (ED.). **Renewable energy sources and climate change mitigation: special report of the intergovernmental panel on climate change**. Nova York: Cambridge University Press, 2012. 1076 p.

EUROPEAN PELLET COUNCIL; **Associação Européia de Biomassa**. Manual EN plus, parte 3 –Requisitos de Qualidade de Pellets. Bélgica, V 3.0, Agosto de 2015.

EPE. Empresa De Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2013: ano base 2012**. Rio de Janeiro, EPE, 2013.

EPE. Empresa De Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015: ano base 2014**. Rio de Janeiro, EPE, 2015.

EPE. Empresa De Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2018: ano base 2017**. Rio de Janeiro, EPE, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindústrias e florestais 2017**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/952626/1/DOC13.pdf>>. Acesso em: 15 agosto. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção de energia com resíduos da agropecuária - 2015**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2563333/producao-de-energia-com-residuos-da-agropecuaria>>. Acesso em: 15 agosto. 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mandioca em números - 2018**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/congresso-de-mandioca-2018/mandioca-em-numeros>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

FILIPPETTO, D. **Briquetagem de resíduos agrícolas vegetais: viabilidade técnico-econômica e potencial de mercado**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

FELIPE, F.I.; ALVES, L.R.A. **Amido de mandioca movimentou R\$ 573,3 milhões em 2004**. Revista da ABAM, ANO II - Nº9 - Janeiro - Março/2005 Available from: <http://www.abam.com.br/revista/revista9/amidomovimentou.php> Acesso em 23 jan 2019.

FONTES, P.J.P. de; QUIRINO, W.F.; PASTORE JUNIOR, F.; FILGUEIRAS, S.M.S. **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal**. Brasília: DPQ/IBDF, 1984.

FURTADO, T.S. et al. **Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v.30, n.62, p.101-106, mai/jul. 2010.

GADELHA, F. H et. al. **Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de Eucalyptus sp. no polo gesseiro do Araripe, PE**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. 2008**. 195p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GIL, M.; ARAUZO, I.; TERUEL, E.; BARTOLOMÉ, C.; **Milling and handling Cynara Cardunculus L. for use as solid biofuel: Experimental tests**. Biomass and Bioenergy, v, 41, p. 145-156, 2012.

GOES T. **A energia que vem da cana-de-açúcar**. Agencia Embrapa de Informações Tecnológicas, 2008.

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**. Energia Agrícola e Ambiental, v.13, n.5, p.657-661, 2009.

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. 128p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2017**. Disponível em: < https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2017_v44_br_informativo.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

JESUS, J. F.; **Despolimerização de fibras e sacarificação do bagaço da manihot esculenta crantz, por hidrólise hidrotérmica ácida**. UFPR/Setor Palotina, 2013.

KALIYAN, K.; MOREY, R. V. **Factors affecting strength and durability of densified biomass products**. Biomass & Bioenergy, Minnesota, v. 33, n. 3, p. 337-359, 2009.

KARKANIA, V.; FANARA, E.; ZABANIOTOU, A. **Review of sustainable biomass pellets production: A study for agricultural residues pellets' market in Greece**. Renewable and Sustainable Energy, Greece, n.16, p.1426-1436, 2012.

KARUNANITHY, C. et al. **Physiochemical characterization of briquettes made from different feedstocks**. Biotechnology Research International, v. 2012, ID 165202, p. 1-12, 2012. DOI: 10.1155/2012/165202.

LAL, R. **World crop residues production and implications of its use as a biofuel**. Environment International, v. 31, n. 4, p. 575-584, 2005.

MAROZZI, C, R, B. **Caracterização de Resíduos Agroindustriais e Florestais Visando a Briquetagem**.28 p.Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo, Gerônimo Monteiro, ES, 2012.

MARTINS, M. P. et al. **Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e cellulose**. Revista Árvore, Viçosa, v. 40, n. 1, jan./fev. 2016.

MOREIRA, J. R., GOLDEMBERG, J. **The Alcohol Program**. Energy Policy 1991, 27, 229.

MME. Ministério de Minas e Energia. Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia, Boletim: **Capacidade Instalada de Geração Elétrica Brasil e Mundo (2014)**, Edição05/03/2015, Brasília, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNNMC**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 20 jan. 2019.

NEITZKE, G. **Geração elétrica distribuída a partir da gaseificação de pellets de cama de aviário**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2010.

NILSON, D.; BERNESSON, S.; HANSSON, P.-A. **Pellet production from agricultural raw materials – a systems study**. *Biomass and Bioenergy*, Oxford, v. 35, n. 1, p. 679-689, 2011.

NOGUEIRA, M. F. M. **Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa**. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC 2007.

OBEMBERGER, I.; THEK, G.; 2010. **The pellet Handbook - The production and thermal utilisation of biomass pellets**. Washington DC: Earthscan. 2010.

OLAKEJI, J. T. & ENWEREMADU, C. C. **The effects of some processing parameters on physical and densification characteristics of corncob briquettes**. *International Journal of Energy Engineering*, n. 2, v. 1, p. 22-27, 2012.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. **Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation**. *Cerne*, v.17, p.237-246, 2011.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. **A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels**. *Science Direct*. 19 November 2004.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. **A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials**. *Science Direct*. 23 February 2007.

PATTIYA, A.; TITLOYE J. O.; BRIDGWATER, A. V. **Evaluation of catalytic pyrolysis of cassava rhizome by principal component analysis**. *Fuel*, v. 89, p. 244-253, 2010.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: fechamento da safra 2010/2011**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.

PEREIRA, F. A. **Efeito da granulometria e de aglutinantes nas propriedades de briquetes de finos de carvão vegetal**. 2009. 66p. UFV, Viçosa, 2009.

PIMENTA, A.S. et al. **Utilização de resíduos de coco (Cocos nucifera) carbonizado para a produção de briquetes**. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n.1, p.137-144, jan/mar. 2015

Pinheiro, G. F. et al. **Densidade energética de resíduos vegetais**. *Biomassa & Energia*, v. 2, n. 2, p. 113-123, 2005.

PINHEIRO, G. F. et al. **Densidade energética de resíduos vegetais**. Biomassa & Energia, v. 2, n. 2, p. 113-123, 2005.

PISTON **Press Densification/Briquetting**. Disponível em: < <http://www.soi.wide.ad.jp/class/20070041/slides/03/12.html>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

PROTÁSIO, T.P. et al. **Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos**. Pesquisa Florestal Brasileira, v.31, p.273-283, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. **Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal**. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 31, n. 66, p.122-133, 2011.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J.O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: LPF/IBAMA, 1991. 18p.

QUIRINO, W. F. et al. **Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira**. Scientia Forestalis, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

QUIRINO, W. F. et al. **Poder calorífico da madeira e de descartes lignocelulósicos**. Biomassa e Energia, v.1, n. 2, p. 173-182, 2004.

RABIER, F. et al. **Participle density determination of pellets and briquettes**. Biomass and Bioenergy, v.30, p.954-963, 2006.

RAMOS E PAULA, L. E. **Produção e Avaliação de Briquetes de Resíduos Lignocelulósicos**. 72 p. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia da Madeira - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 2010.

RAMOS e PAULA, L. E; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. **Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011.

RASGA, R. O. S.; **pellets de madeira e sua viabilidade econômico-financeira na substituição do óleo BPF-A1 em pequenos e médios consumidores no Estado de São Paulo 2013**. 2013, 165 f. Dissertação (Mestre em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, 2013, São Paulo.

REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). **Renewables 2013: Global Status Report**. 2013. Disponível em < <http://www.ren21.net/>> . Acesso em 10 fev. 2019.

RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R. **Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de farelo de mandioca**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 41, n. 12, p. 2196-2202, 2011.

SAITO, I.; CABELO, C.; FUKUSHIMA, R. S. **Caracterização das fibras do farelo de mandioca residual após tratamento hidrotérmico**. Raízes e Amidos Tropicais, Botucatu, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2006.

SAWIN, J. L.; BHATTACHARYA, S. C.; Galàn, E. M.; McCRONE, 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_>. Acesso em: 25 jan. 2019.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. SEBRAE. **Cadeia produtiva da avicultura: cenários econômicos e estudos setoriais**. Sebrae, 2008. Disponível em: <<http://177.52.17.17:8030/downloads/sebrae.pdf>> . Acesso em: 14 dez. 2018.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; MOTOLA, V.; MONFORTI-FERRARIO, F. **Bioenergy production and use in Italy: Recent developments, perspectives and potential**. *Renewable Energy*, v. 57, p. 448-461, 2013.

SCHUCHARDT, U.; RIBEIRO, M.L. **A indústria petroquímica no próximo século: como substituir o petróleo como matéria-prima?** *Química Nova*, v. 24, n. 2, p. 247-251, 2001.

SCHÜTZ, F, C, A; ANAMI, M, H; TRAVESSINI, R. **Desenvolvimento e ensaio de briquetes fabricados a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria**. *Inovação e Tecnologia*, v.1, n.1, p.1-8,2010.

SILVA, Carla; **pelletes de Acácia deolbata. Uma oportunidade bioenergética?** 2009/2011, 59 f. Dissertação– Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Viseu, 2011.

SILVA, V, V.; MAGALHAES, D, S; SIQUEIRA, W, C. **Poder calorífico de briquetes artesanais fabricados com diferentes tipos de aglutinantes**. Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Araçuaí, 2018.

SOARES, V.C. et al. **Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de Eucalipto**. *Revista Árvore*, Viçosa, v.38, n.3, p-543-549, 2014.

TEIXEIRA, S. R.; PENA, A. F. V.; MIGUEL, A. G. **Briquetting of charcoal from sugarcane bagasse fly ash (scbfa) as an alternative fuel**. *Waste management*, v.30, n.5,p.804-807, 2010.

VAN DER SELT, M. J. C. et al. Biomass upgradings by torrefaction for the production of biofuels: A review. *Biomass and Bioenergy*, The Netherlands, n.35, p. 3748-3762, 2011. VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VENDRASCO, L. et al. **Determinação da densidade de briquetes pelo método estereométrico**. In: 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 2010, Curitiba. Anais... Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VIEIRA, A.C.M. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia**. 2012. 56p. Dissertação (Mestrado de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

ZANATTA, E. R. **Estudo Cinético da Pírolise das biomassas: Bagaço de mandioca, Casca de soja e Bagaço de Cana**. Unioeste, Toledo 2012.

APÊNDICE 1 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Análise Imediata para os Briquetes Produzidos

A análise de variância (ANOVA) foi realizada para identificar se houve ou não interação significativa entre os parâmetros medidos no presente trabalho. Assim como teste de desvio padrão e coeficiente de variância de cada parâmetro analisado.

Nas TABELAS 16 e 17 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para variável umidade.

TABELA 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA UMIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Ftab
Tratamento	2	6,600	3,300	13,613	5,14
Resíduo	6	1,454	0,242		
Total	8	8,054			

TABELA 17 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA UMIDADE.

Amostra	M1	M2	M3
1	3,06	4,5	4,6
2	2,32	4,7	3,9
3	3,19	5,2	5,1
Média	2,86	4,78	4,54
DP	0,39	0,29	0,50
CV (%)	13,49	5,98	11,10

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para variável umidade dos briquetes produzidos, podemos observar que o briquete M1 apresentou variância de estatística.

Nas TABELAS 18 e 19 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para variável carbono fixo.

TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO FIXO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Ftab
Tratamento	2	1,17152	0,586	0,638523	5,14
Resíduo	6	5,504199	0,917		
Total	8	6,675719			

TABELA 19 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CARBONO FIXO.

Amostra	M1	M2	M3
1	15,36	14,69	15,37
2	12,56	13,82	14,54
3	15,08	14,21	15,24
Média	14,33	14,24	15,05
DP	1,26	0,35	0,36
CV (%)	8,76	2,47	2,42

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para variável carbono fixo dos briquetes produzidos, podemos observar que o valor de F encontrado está abaixo de 5%, sendo assim não apresentam diferenças estatísticas de carbono fixo.

Nas TABELAS 20 e 21 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para variável voláteis.

TABELA 20 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE VOLÁTEIS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Ftab
Tratamento	2	165,3851	82,693	3,76844	5,14
Resíduo	6	131,6606	21,943		
Total	8	297,0457			

TABELA 21 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA VOLÁTEIS.

Amostra	M1	M2	M3
1	70,0201	75,9388	74,6204
2	57,1143	73,588	68,8952
3	68,9219	76,8769	75,0294
Média	65,3521	75,4679	72,8483
DP	5,84	1,38	2,80
CV (%)	8,94	1,83	3,84

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para o teor de voláteis dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está abaixo de 5%, sendo assim não apresentam diferenças nos teores de voláteis entre os briquetes produzidos.

Nas TABELAS 22 e 23 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para variável Cinzas.

TABELA 22 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE CINZAS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	F_{tab}
Tratamento	2	48,453	24,226	18,526	5,14
Resíduo	6	7,846	1,308		
Total	8	56,299			

TABELA 23 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CINZAS.

Amostra	M1	M2	M3
1	14,62	9,38	11,01
2	12,32	7,59	11,57
3	14,00	6,92	9,73
Média	13,65	7,96	10,77
DP	1,19	1,04	0,77
CV (%)	8,72	13,04	7,14

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para o teor de cinzas dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está acima de 5%, sendo assim pode se concluir que apenas o briquete M1 apresentou diferença estatística em relação ao teor de cinzas.

Análise Elementar para os Briquetes Produzidos

Nas TABELAS 24 e 25 estão descritas a análise de variância (ANOVA), assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para a variável hidrogênio.

TABELA 24 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO HIDROGÊNIO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	F_{calc}
Tratamento	2	5,627	2,813	12,148	5,14
Resíduo	6	1,390	0,232		
Total	8	7,016			

TABELA 25 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA HIDROGÊNIO.

Amostra	M1	M2	M3
1	5,0133	7,1032	5,4255
2	5,5559	6,9647	5,8623
3	4,2964	6,607	6,3837
Média	4,96	6,89	5,89
DP	0,52	0,21	0,39
CV (%)	10,41	3,03	6,65

Observando os resultados obtidos da ANOVA para os teores de hidrogênio encontrados nos briquetes produzidos, foi possível observar que o valor de F encontrado está acima de 5%, sendo assim foi concluído que os três briquetes possuem diferença estatística com relação ao teor de hidrogênio.

Nas TABELAS 26 e 27 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância do teor de carbono.

TABELA 26 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO CARBONO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	F_{tab}
Tratamento	2	355,376	177,688	11,807	5,14
Resíduo	6	90,296	15,049		
Total	8	445,672			

TABELA 27 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA CARBONO.

Amostra	M1	M2	M3
1	40,6266	57,2579	43,7405
2	44,9885	56,0413	47,344
3	34,7886	53,2752	51,4309
Média	40,13	55,52	47,51
DP	4,18	1,67	3,14
CV (%)	10,41	3,00	6,61

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para os teores de carbono dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está acima de 5%, portanto os três briquetes possuem diferença estatística com relação ao teor de carbono.

Nas TABELAS 28 e 29 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para os teores de oxigênio.

TABELA 28 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA UMIDADE DO OXIGÊNIO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	F_{tab}
Tratamento	2	312,298	156,149	12,284	5,14
Resíduo	6	76,268	12,711		
Total	8	388,567			

TABELA 29 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA OXIGENIO.

Amostra	M1	M2	M3
1	37,0595	52,6214	40,1906
2	41,0837	51,6332	43,3964
3	31,7702	48,9393	47,3019
Média	36,64	51,06	43,63
DP	3,81	1,56	2,91
CV (%)	10,41	3,05	6,66

Observando os resultados obtidos da ANOVA para os teores de oxigênio encontrados nos briquetes produzidos, podemos observar que o valor de F encontrado está acima de 5%, sendo assim foi concluído que os três briquetes diferentes entre si em relação ao teor de oxigênio.

Poder Calorífico para os Briquetes Produzidos

Nas TABELAS 30 e 31 estão descritas a análise de variância (ANOVA), assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para o poder calorífico superior.

TABELA 30 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Ftab
Tratamento	2	15,387	7,693	1,366	5,14
Resíduo	6	33,780	5,630		
Total	8	49,167			

TABELA 31 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORIFICO SUPERIOR.

Amostra	M1	M2	M3
1	16,2324	15,3347	16,5174
2	15,5592	16,7234	18,9305
3	9,8705	17,201	15,1079
Média	13,89	4,78	4,54
DP	2,85	5,87	6,35
CV (%)	20,55	122,73	139,86

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para o poder calorífico superior dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está abaixo de 5%, sendo assim conclui-se que os briquetes não apresentam diferenças significativas no seu poder calorífico superior.

Nas tabelas 32 e 33 estão descritas a análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para o poder calorífico inferior.

TABELA 32 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA PODER CALORÍFICO INFERIOR DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Fcalc
Tratamento	2	13,113	6,556	1,352	5,14
Resíduo	6	29,098	4,850		
Total	8	42,211			

TABELA 33 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORÍFICO INFERIOR.

Amostra	M1	M2	M3
1	15,0711	14,2171	15,3241
2	14,4469	15,5036	17,5629
3	9,1638	15,942	14,0206
Média	12,89	15,22	15,64
DP	2,65	0,73	1,46
CV (%)	20,55	4,81	9,36

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para o poder calorífico inferior dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está abaixo de 5, sendo assim conclui-se que os briquetes não apresentam diferenças significativas no seu poder calorífico inferior.

Nas TABELAS 34 e 35 estão descritas as análise de variância, assim como respectivo desvio padrão e coeficiente de variância para o poder calorífico útil.

TABELA 34 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE PODER CALORÍFICO ÚTIL DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.

FV	GL	SQ	QM	F	Ftab
Tratamento	2	9,528	4,764	1,107	5,14
Resíduo	6	25,823	4,304		
Total	8	35,351			

TABELA 35 - RESULTADOS DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA DOS BRIQUETES PRODUZIDOS PARA PODER CALORÍFICO UTIL.

Amostra	M1	M2	M3
1	14,507	13,517	14,46
2	13,9255	14,6803	16,527
3	8,8476	14,9855	13,3364
Média	12,43	14,39	14,77
DP	2,54	0,63	1,32
CV (%)	20,46	4,40	8,94

Analisando os resultados obtidos da ANOVA para o poder calorífico útil dos briquetes, podemos observar que o valor de F encontrado está abaixo de 5%, sendo assim conclui-se que os briquetes não apresentam diferenças significativas no seu poder calorífico útil.