

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DENSIDADE ENERGÉTICA DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Estudante: Luana de Oliveira Barros, matrícula 08/34688

RG: 110004905-3 MD EB

CPF: 016.527.141-89

Linha de Pesquisa: Tecnologia e utilização de produtos florestais

Orientador: Prof. Ailton Teixeira do Vale

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília-DF, agosto de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DENSIDADE ENERGÉTICA DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Estudante: Luana de Oliveira Barros, matrícula 08/34688

RG: 110004905-3 MD EB

CPF: 016.527.141-89

Linha de Pesquisa: Tecnologia e utilização de produtos florestais

Orientador: Prof. Ailton Teixeira do Vale

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília-DF, agosto de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**DENSIDADE ENERGÉTICA DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE
RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Estudante: Luana de Oliveira Barros, matrícula 08/34688

Menção: _____

Aprovado por:

Químico Alessandro César de Oliveira Moreira

Analista Ambiental

Membro da banca

Prof. Alexandre Florian da Costa

Membro da banca

Prof. Ailton Teixeira do Vale

Orientador

Brasília, 08 de agosto de 2012

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade de produção de briquetes de casca maracujá, de coco, de laranja, mandioca e de sabugo de milho, bem como a qualificação destes briquetes e a comparação entre eles considerando a densidade energética. Foram utilizados resíduos em duas granulometrias e uma briquetadeira de laboratório com temperatura de 130°C, pressão efetiva no briquete pelo cilindro inferior de 82,38MPa e do cilindro superior com pressão efetiva no briquete pouco acima de 48,25MPa por um tempo de 5 minutos e resfriados por 10 min. Para granulometria inferior a 40 ABNT, os resíduos: coco, sabugo de milho e casca de maracujá foram considerados briquetáveis e as cascas de laranja e mandioca não briquetáveis. Para a granulometria inferior a 14 ABNT, apenas a casca de laranja foi considerada como sendo não briquetável. Quanto à análise imediata, o resíduo com maior teor de materiais voláteis, menor teor de cinza e maior teor de carbono fixo foi a casca de laranja e o que apresentou as piores propriedades foi o sabugo de milho. Os briquetes produzidos a partir da casca de maracujá apresentaram maiores valores de densidade energética para as duas granulometrias, que não diferiram entre si a 1% de probabilidade. No entanto estes briquetes apresentaram densidades energéticas estatisticamente diferentes das dos briquetes produzidos com os demais resíduos.

Palavras-chave: briquete, resíduos agrícolas, densidade energética, análise imediata

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the feasibility of producing briquettes made of passion fruit peels, coconut, orange husk, cassava husk and corn cobs as well as the qualification of briquettes and the comparison between them considering the energy density. Residues were used in two particle size and a briquetter laboratory using temperature of 130° C, effective pressure of the lower cylinder on briquette 82,38MPa and the upper cylinder with effective pressure on briquette just above 48,25MPa for a time of 5 minutes and cooled for 10 minutes. To particle size, background of 40 ABNT, the waste: coconut, corn cob and passion fruit husk were considered briquettable and orange peel and cassava husk were considered not briquettable. For particle size, background of 14 ABNT, only the orange peel was considered not briquettable. As for immediate analysis, the residue with a higher content of volatiles, lower ash content and higher fixed carbon content was the orange peel and which had the worst properties was corn on the cob. The briquettes produced from passion fruit peel showed higher values of energy density for the two particle sizes, which did not differ at 1% of probability. However, these briquettes were statistically different energy density of the briquettes produced with other waste.

Key words: briquette, agricultural residues, energy density, immediate analysis

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURA

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3.OBJETIVO GERAL.....	4
3.1 Objetivos Específicos.....	4
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
4.1. Coleta dos Resíduos Agrícolas.....	4
4.2. Moagem do Material.....	4
4.3. Classificação dos Resíduos Moídos.....	5
4.4 Produção dos Briquetes.....	6
4.5 Análise Imediata.....	7
4.5.1 Determinação do teor de umidade.....	7
4.5.2 Determinação do teor de materiais voláteis.....	8
4.5.3 Determinação do teor de cinza.....	9
4.5.4 Determinação do teor de carbono fixo.....	11
4.6 Determinação do Poder Calorífico.....	11
4.7 Determinação da Densidade dos Briquetes.....	12
4.8 Determinação da Densidade Energética dos Briquetes.....	12
4.9 Análise Estatística da Densidade e Densidade Energética dos Briquetes.....	13
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5.1. Produção dos Briquetes de Resíduos Agrícolas.....	13
5.1.1 Análise estatística dos teores de umidade dos materiais que briquetaram em função das granulometrias.....	18
5.2 Análise Imediata.....	18
5.2.1 Determinação do teor de materiais voláteis.....	18
5.2.2 Determinação do teor de cinza.....	19
5.2.3 Determinação do teor de carbono fixo.....	20
5.3 Determinação do Poder Calorífico.....	20
5.3.1 Determinação do poder calorífico superior.....	21
5.3.2 Determinação do poder calorífico inferior.....	21
5.3.3 Determinação do poder calorífico útil.....	22
5.4 Determinação da Densidade.....	22
5.4.1 Análise estatística da densidade dos briquetes.....	22
5.4.1.1 Análise estatística da densidade dos briquetes para granulometria menor que 40 ABNT (Mesh) em função dos materiais.....	23
5.4.1.2 Análise estatística da densidade dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12Mesh) em função dos materiais.....	24
5.4.1.3 Análise estatística da densidade dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.....	25
5.4.1.4 Análise estatística da densidade dos briquetes de coco em função das granulometrias.....	26
5.4.1.5 Análise estatística da densidade dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.....	26
5.5 Determinação da Densidade Energética dos Briquetes de Resíduos Agrícolas.....	27

5.5.1	Análise Estatística.....	28
5.5.1.1	Análise estatística da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.....	28
5.5.1.2	Análise estatística da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 40ABNT (Mesh) em função dos materiais.....	29
5.5.1.3	Análise estatística da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12Mesh) em função dos materiais.....	30
5.5.1.4	Análise estatística da densidade energética dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.....	30
5.5.1.5	Análise estatística da densidade energética dos briquetes de coco em função das granulometrias.....	31
5.5.1.6	Análise estatística da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.....	32
6.	CONCLUSÃO.....	33
7.	RECOMENDAÇÕES.....	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moinho de faca utilizado para moagem dos resíduos agrícolas.....	5
Figura 2: Classificador utilizado para obtenção das partículas dos resíduos agrícolas.....	6
Figura 3: Briquetadeira utilizada para confecção dos briquetes de resíduos agrícolas.....	6
Figura 4: Da esquerda para direita, a) Cilindro da Briquetadeira. b)Expulsão do Briquete, c) Soprador para Resfriamento dos Briquetes.....	7
Figura 5:Briquetes de casca de laranja menor que 40ABNT.....	14
Figura 6: Briquetes de casca de mandioca menor que 40ABNT.....	15
Figura 7:Briquetes de casca de laranja menor que 14ABNT.....	15
Figura 8: Resultados da briquetagem de resíduos agrícolas com granulometrias menores que 40 e 14ABNT.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de umidade e resultado da briquetagem dos resíduos agrícolas estudados.....	13
Tabela 2 - Teor de umidade dos resíduos agrícolas e resultado da briquetagem.....	14
Tabela 3 - Teor de umidade e resultado da briquetagem dos resíduos de casca de laranja e de mandioca.....	15
Tabela 4 - Teor de materiais voláteis dos resíduos agrícolas.....	19
Tabela 5: Teor de cinza dos resíduos agrícolas.....	19
Tabela 6: Valores médios de teor de carbono fixo dos resíduos agrícolas.....	20
Tabela 7: Poder calorífico superior dos resíduos agrícolas.....	21
Tabela 8: Valores médios de poder calorífico inferior dos resíduos	21
Tabela 9: Valores médios de poder calorífico útil dos resíduos agrícolas.....	22
Tabela 10: Densidade dos briquetes de resíduos agrícolas.....	22
Tabela 11: Densidade energética dos briquetes de resíduos agrícolas.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Produção de culturas e resíduos agrícolas em 2010.....	2
Quadro 2: Composição elementar, análise imediata e poder calorífico dos resíduos.....	3
Quadro 3: ANOVA da umidade dos materiais que briquetaram em função das granulometrias.....	18
Quadro 4: ANOVA da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.....	23
Quadro 5: ANOVA da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.....	23
Quadro 6: Comparação de médias pelo teste de Tukey para densidade dos briquetes.....	24
Quadro 7: ANOVA da densidade dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12Mesh) em função dos materiais.....	24
Quadro 8: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	25
Quadro 9: ANOVA da densidade dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.....	25
Quadro 10: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	25
Quadro 11: ANOVA da densidade dos briquetes de coco em função das granulometrias.....	26
Quadro 12: ANOVA da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.....	26
Quadro 13: Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	27
Quadro 14: ANOVA da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.....	28
Quadro 15: ANOVA da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.....	29
Quadro 16: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	29
Quadro 17: ANOVA da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12Mesh) em função dos materiais.....	30
Quadro 18: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	30
Quadro 19: ANOVA da densidade energética dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.....	31
Quadro 20: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	31
Quadro 21: ANOVA da densidade energética dos briquetes de coco em função das granulometrias.....	31
Quadro 22: ANOVA da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.....	32
Quadro 23: Comparação de médias pelo teste de Tukey.....	32

1. INTRODUÇÃO

Há um consenso quanto à poluição do meio ambiente pelo ar, solo e águas de forma crescente em todo o planeta. E, nesse sentido, surge uma consciência global para a redução da poluição e pela sobrevivência de toda a humanidade (IPCC, 2007). Esta consciência gerou a necessidade da redução do efeito estufa, a diminuição do consumo dos combustíveis fósseis e o uso mais intenso da bioenergia (PERSSON, 2006 APUD GENTIL, 2007).

Nesse contexto os resíduos lignocelulósicos compostos basicamente de lignina e celulose e denominados biomassa vegetal, apresentam-se como alternativa.

A biomassa, que contém energia química proveniente da conversão da energia luminosa graças à fotossíntese, tem sido cogitada como uma das alternativas aos combustíveis fósseis pelas suas características ambientais, renovável, por possuir baixo preço, ser farta e possuir um potencial de produção no limite das terras cultiváveis que o planeta oferece (ROSSILO-CALLE, 2004; TABARÉS, 2000; GOLDEMBERG, 1998).

O Brasil se destaca no cenário agrícola mundial, com grande produção em alguns setores gerando também grandes quantidades de resíduo oriundo da biomassa vegetal. Esses resíduos muitas vezes são subutilizados ou descartados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O potencial disponível de resíduos agrofloretais ainda é relativamente pouco conhecido no Brasil, mas, certamente, corresponde a volumes significativos de energia subutilizada. A utilização desses resíduos apresenta grandes vantagens, como mudança da matriz energética, com vistas à sua sustentabilidade; favorecimento da interiorização e regionalização do desenvolvimento; ampliação da geração de renda e melhoria de sua distribuição; geração de empregos dentro do agronegócio, além da contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa e diminuição dos volumes dos resíduos depositados em aterros sanitários (VIANNA *et al.*, 2000).

O Brasil se destaca no cenário agrícola mundial, com grande produção em alguns setores gerando também grandes quantidades de resíduo oriundo da biomassa vegetal. Segundo o Ministério da Agricultura (2012), o país é responsável por 60% da produção mundial de suco de laranja sendo o campeão de exportações desse produto. É o terceiro maior

produtor mundial de milho utilizado basicamente para a alimentação animal e, também, um grande produtor e consumidor de coco da Bahia, gerando muito resíduo na forma de casca.

Em 2010, 25% dos produtos oriundo do agronegócio, em circulação no mundo, eram brasileiros e projeções da Assessoria de Gestão Estratégica apontam que, até 2020, a produção do País vai representar um terço da comercialização mundial (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,2012).

A grande produção agrícola nacional é responsável por uma grande quantidade de resíduos orgânicos (Quadro1) que, na maioria das vezes, é subutilizado ou descartado em aterros sanitários e lixões.

Quadro 1: Produção de culturas e resíduos agrícolas em 2010 no Brasil.

Biomassa	Produção (toneladas) ¹	Rendimento de resíduos (%)	Resíduos(toneladas)
Espiga de milho	76.000.000,00*2	20 ⁶ *2	15.200.000,00*3
Coco da Bahia	945.843,50*1	90 ²	851.259,15
Maracujá	920.158,00	52 ⁵	478.482,16
Laranja	18.101.708,00	50 ³	9.050.854,00
Mandioca	24.524.318,00	5,1 ⁴	1.250.740,22

Fonte: ¹SIDRA,2012(produção 2010); ²Giomo, 2006; ³Benedetti,200 9; ⁴Takahashi e Fagioto, 1990; ⁵Medina,1980, ⁶Barbosa, 2004.

*1Produção em número de frutos(mil) multiplicada por 0,5Kg. Considerou-se 0,5kg como peso médio dos cocos.

*2 Produção segundo Ministério da Agricultura considerando a espiga composta por 70% grãos e 20% sabugo e 10% palha.

*3 Sabugo.

O aproveitamento dos resíduos agrícolas pode ser feito na forma “in natura” ou transformados. Uma opção para resíduos de baixa densidade, como são o caso de algumas cascas, é a briquetagem ou adensamento.

O processo de briquetagem consiste na compactação da biomassa a elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura do processo da ordem de 100°C. O aumento da temperatura provocará a "plastificação" da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas. Para que a aglomeração tenha sucesso, é necessária uma quantidade de água, compreendida de 8% a 12% (QUIRINO, 2002). É recomendável que o tamanho da partícula esteja entre 5 e 10 mm (CARVALHO, 2004).

O briquete, por possuir excelentes propriedades caloríficas, produzido a partir de resíduos ligno-celulósicos, com tecnologia simples e investimentos baixos, é uma excelente fonte de energia, podendo, muitas vezes, substituir os combustíveis atualmente em uso com vantagens operacionais, logísticas, econômicas e ambientais (CAIRES, 2010).

Na fabricação de briquete, as matérias-primas utilizadas podem ser: serragem, maravalha, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, café entre outros, obtendo-se briquetes com qualidade superior (QUIRINO, 1991).

Na caracterização dos resíduos agroflorestais algumas variáveis indispensáveis devem ser determinadas, tais como o teor de carbono fixo, de material volátil e de cinzas a partir da *análise imediata*; o *poder calorífico útil* e a *densidade energética*.

Os materiais voláteis englobam a água não originalmente presente como umidade livre no material, mas que é derivada da decomposição química durante o aquecimento, uma mistura complexa de gases combustíveis. O teor de cinza é a quantidade de resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica, que é transformada em energia, gás carbônico e água.

O Poder Calorífico Superior (P.C.S.) compreende a soma da energia liberada por uma unidade de massa seca a 0% de umidade, na forma de calor e a energia na forma de calor latente de vaporização da água de constituição que é recuperada. O Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) é dado pela energia liberada por uma unidade de massa na forma de calor menos o calor latente de vaporização da água durante a combustão. A diferença entre P.C.S. e P.C.I. é igual a quantidade de calor necessário para evaporar a água presente no material.

No Quadro 2 estão as características de resíduos de origem agroflorestal, quanto a composição elementar, análise imediata e poder calorífico superior.

Quadro 2: Composição elementar, análise imediata e poder calorífico de alguns resíduos agrícolas.

Biomassa	Composição elementar (%)						Análise Imediata(%)			PCS(kcal/kg)
	C	H	O	N	S	Cz	MV	Cz	CF	
Sabugo de milho ¹	46,58	5,87	45,46	0,5	0,01	1,40	80,10	1,4	18,5	4.498
Casca de coco ¹	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12	10,25	67,95	8,25	23,80	4.545
Casca de Maracujá ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.156
Casca de Laranja ⁴	-	-	-	-	-	-	21,75	9,50	68,75	-
Casca de Mandioca ³	42,00	6,00	42,00	0,50	-	9,50	-	-	-	3.764

Fonte: ¹Jenkins, 1990, ² Silva, 2006, ³ Boog, 2007, ⁴Tienne, 2004.

A densidade energética de briquetes compreende a quantidade de energia por unidade de volume e pode ser utilizada para comparação da eficiência energética dos briquetes.

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho foi estudar a viabilidade de produção de briquetes de alguns resíduos agrícolas bem como compará-los.

3.1 Objetivos Específicos

O presente trabalho pretende estudar a viabilidade de produção de briquetes de casca de maracujá, de coco, de laranja, mandioca e de sabugo de milho, bem como a qualificação destes briquetes e a comparação entre eles considerando a densidade energética.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta Dos Resíduos Agrícolas

Os resíduos agrícolas selecionados, formados por, casca de laranja sem a bucha interior, coco, casca de mandioca, casca de maracujá e sabugo de milho, foram coletados na região do Distrito Federal e armazenados na Fazenda Água Limpa-FAL da Universidade de Brasília onde foram secos ao ar até atingirem umidade adequada para moagem.

4.2 Moagem do Material

Os resíduos foram cortados com tesoura ou facão dependendo do material. O coco e o sabugo de milho foram triturados previamente. Posteriormente cada resíduo foi moído em um moinho de facas de laboratório da marca Marconi modelo MA680 na FAL e armazenados no mesmo local.



Figura1: Moinho de faca utilizado para moagem dos resíduos agrícolas

4.3 Classificação dos Resíduos Moídos

Os resíduos agrícolas moídos foram classificados em duas granulometrias, utilizando um classificador da marca Bertel com peneiras de 40 ABNT/ASTM (40 Mesh) para obtenção de resíduos de granulometria mais fina e de 14 ABNT/ASTM (12 Mesh) para obtenção de partículas de maior granulometria.



Figura 2: Classificador utilizado para obtenção das partículas dos resíduos agrícolas

4.4 Produção dos Briquetes

Para a produção dos briquetes que foi realizado no Laboratório de Produtos Florestais-LPF do Serviço Florestal Brasileiro-SFB foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Uma Briquetadeira da marca Lippel modelo LB32;
- b) Um soprador modelo MUB101 da marca Makita com velocidade 2;
- c) Três potes plásticos para colocação dos resíduos a serem compactados;
- d) Balança marca Bel modelo Mark 10.000 e classe II com capacidade de 10kg e precisão de 0,1g.

Para cada resíduo foi pesado 40g de material e colocado em cada pote de plástico. Foram produzidos seis briquetes com 40g de material cada, para cada resíduo, utilizando temperatura de 130°C, pressão efetiva no briquete pelo cilindro inferior de 82,38MPa e do cilindro superior com pressão efetiva no briquete pouco acima de 48,25MPa por um tempo de 5 minutos e resfriados por 10 min com o auxílio do soprador.



Figura 3: Briquetadeira utilizada para confecção dos briquetes de resíduos agrícolas



(a)

(b)

(c)

Figura 4: Da esquerda para direita, a) Cilindro da Briquetadeira. b) Expulsão do Briquete. c) Soprador para Resfriamento dos Briquetes

Os materiais que não briquetaram foram deixados na estufa à 40°C por 3 horas para redução da umidade e colocados em um dessecador para estabilizar sua massa. A umidade foi aferida segundo a norma NBR 8112 de outubro de 1986 e o material briquetado novamente. O processo foi repetido para os materiais que ainda assim não briquetaram.

4.5 Análise Imediata

Para análise imediata utilizou-se a norma NBR 8112 de outubro de 1986 que prescreve o método para análise imediata de carvão vegetal, já que não existe norma nacional para análise imediata de resíduos vegetais.

4.5.1 Determinação do teor de umidade

O teor de umidade das partículas dos resíduos agrícolas foi aferido utilizando os seguintes materiais:

- a) Estufa com temperatura de $105 \pm 2^\circ \text{C}$ da marca MARCONI modelo MA035/5, do laboratório de Energia da Biomassa do Laboratório de Produtos Florestais-LPF do Serviço Florestal Brasileiro-SFB pertencente ao Ministério do Meio Ambiente-MMA;
- b) Balança da marca Bel modelo Mark 10.000 e classe II com capacidade de 10kg e precisão de 0,1g;
- c) Placas de Petri de vidro sendo duas para cada resíduo;
- d) Bandeja de alumínio;

e) Dessecador.

As placas de Petri foram limpas, aspiradas e colocadas em uma bandeja de alumínio previamente limpa.

A bandeja com as placas de Petri foi colocada na estufa por 10 minutos e submetida a temperatura de $105\pm 2^\circ\text{C}$ para eliminação de contaminantes dessas.

Após esse tempo a bandeja foi retirada da estufa e a massa de cada placa de Petri tarada. Posteriormente foram colocados 10g de resíduos em cada placa que foi novamente levada para a estufa onde permaneceu até que os resíduos atingissem massa constante. Realizou-se pesagem das placas com os resíduos 2 horas após a colocação do material úmido na estufa, 3 horas e 4 horas.

O teor de umidade foi determinado segundo a Equação 1:

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 \quad \text{Equação 1 (NBR 8112/86)}.$$

Onde:

TU= teor de umidade, em %;

m_0 = massa inicial da amostra, em g;

m_1 = massa final da amostra, em g.

4.5.2 Determinação do teor de materiais voláteis

Para essa análise utilizou-se os seguintes materiais:

- a) Peneiras de 80 e 100 ABNT/ASTM;
- b) Uma balança da marca Bel modelo UMark 210A , classe I com precisão de 0,1mg;
- c) Cadinhos de porcelana com tampa;
- d) Uma mufla da marca Quimis modelo Q318M com capacidade de atingir 1000°C ;
- e) Estufa com temperatura de $105\pm 2^\circ\text{C}$ da marca MARCONI modelo MA035/5, do laboratório de Energia da Biomassa do LPF;
- f) Placas de Petri de vidro
- g) Dessecador.

Os materiais foram classificados entre 80 e 100 ABNT, com auxílio das peneiras já que a norma determina granulometria inferior a 0,210mm e superior a 0,150mm. Foram colocados em placas de Petri e secos em estufa a temperatura de $105 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingirem massa constante.

Os cadinhos com suas tampas foram deixados por 3 horas na mufla para calcinação. Após esse tempo foram colocados no dessecador para esfriar. Posteriormente foram tarados e em cada cadinho foi colocado 1g do material seco. Foram utilizados 3 cadinhos por resíduo.

Esses foram colocados sobre a porta da mufla previamente aquecida por 3 minutos. Após esse tempo, foram colocados no interior da mufla por 7 minutos com a porta fechada.

Em seguida, os cadinhos foram retirados da mufla e colocados em um dessecador para esfriarem e pesados para determinação da massa final.

O teor de materiais voláteis foi determinado segundo a Equação 2:

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} * 100 \quad \text{Equação 2 (NBR 8112/86).}$$

Onde:

MV= teor de materiais voláteis, em %;

m_2 = massa inicial do cadinho + amostra do resíduo, em g;

m_3 = massa final do cadinho + amostra de resíduo, em g;

m = massa da amostra do resíduo, em g.

Dos três valores de teor de materiais voláteis aferidos para cada material, os dois que apresentaram menor diferença relativa foram utilizados para o cálculo da média aritmética cujo resultado foi utilizado como um valor final do teor de materiais voláteis. A norma NBR 8112/86 determina que a diferença relativa entre os valores de teor de materiais voláteis do mesmo resíduo seja inferior a 2%.

4.5.3 Determinação do teor de cinza

Para essa análise utilizou-se os seguintes materiais:

- a) Peneira de 80 ABNT/ASTM;
- b) Uma balança da marca Bel modelo UMark 210A classe I, com precisão de 0,1mg;
- c) Cadinhos de porcelana com tampa;
- d) Uma mufla da marca Quimis modelo Q318M com capacidade de atingir 1000°C;
- e) Estufa com temperatura de 105±2° C da marca MARCONI modelo MA035/5, do laboratório de Energia da Biomassa do Laboratório de Pesquisa Florestal-LPF;
- f) Placas de Petri de vidro;
- g) Dessecador.

Os resíduos de cada material foram classificados utilizando uma peneira de 80 ABNT/ASTM já que a norma determina granulometria inferior a 0,210mm. Esse material foi colocado em placas de Petri e secos em estufa à temperatura de 105±2° C até atingirem massa constante.

Os cadinhos sem as tampas foram deixados por 3 horas na mufla para calcinação. Após esse tempo foram colocados no dessecador para resfriar. Posteriormente esse material foi tarado e em cada cadinho foi colocado 1g do material seco. Utilizando-se 3 cadinhos por resíduo.

Os cadinhos com as amostras de resíduos foram colocados na mufla previamente aquecida a 700±10°C e deixados lá até que se queimassem completamente.

Em seguida, os cadinhos foram retirados da mufla e colocados em um dessecador para resfriar e pesados para determinação da massa final.

O teor de materiais voláteis foi determinado segundo a Equação 3:

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} * 100 \quad \text{Equação 3(NBR 8112/86)}.$$

Onde:

CZ= teor de cinza, em %;

m_0 = massa do cadinho, em g;

m_1 = massa do cadinho + amostra do resíduo, em g;

m = massa da amostrado resíduo, em g.

Dos três valores de teor de cinza aferidos para cada material, os dois que apresentaram menor diferença relativa foram utilizados para o cálculo da média aritmética cujo resultado foi utilizado como o valor final do teor de cinza. A norma NBR 8112/86 determina que a diferença relativa entre os valores de teor cinza do mesmo resíduo seja inferior a 10%.

4.5.4 Determinação do teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo por ser uma medida indireta, foi determinado conforme a Equação 4:

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad \text{Equação 4 (NBR 8112/86).}$$

CF = Teor de carbono fixo, em %;

CZ = Teor de cinza, em %;

MV = Teor de materiais voláteis, em %.

4.6 Determinação do Poder Calorífico

O poder calorífico superior foi determinado segundo a norma NBR 8633/1984. As amostras dos resíduos foram secas em estufa até atingirem massa constante. Foram pesadas aproximadamente 0,7000g em uma balança analítica com precisão de 0,1mg, sendo duas amostras por resíduo. Essas foram colocadas em um calorímetro da marca PARR e modelo 1261 utilizado para determinar o poder calorífico superior de cada amostra. A diferença entre o poder calorífico das amostras do mesmo resíduo não poderia ser superior a 40cal/g. O poder calorífico superior foi determinado pela média entre as medições obtidas pelo calorímetro.

O poder calorífico inferior foi determinado segundo a Equação 5:

$$PCI = PCS - 324 \quad \text{Equação 5 (BRITO, 1993).}$$

Onde:

324 obtido pela expressão $600 \left(\frac{9h}{100} \right)$;

h = Teor de hidrogênio (em média 6%);

PCI = Poder Calorífico Inferior;

PCS = Poder Calorífico Superior;

O poder calorífico inferior foi determinado pela média entre as medições obtidas pela equação, utilizando os diferentes valores de *PCS* obtidos no calorímetro.

O poder calorífico útil foi determinado segundo a Equação 6:

$$PCU = PCI(1 - U) - 600U \quad \text{Equação 6 (BRITO, 1993).}$$

Onde:

PCU= Poder calorífico útil

PCI=Poder calorífico inferior

U = umidade em base úmida (%)

O poder calorífico útil foi determinado pela média entre as medições obtidas pela equação, utilizando os diferentes valores de *PCU* obtidos.

4.7 Determinação da Densidade dos Briquetes

Para obtenção da densidade dos briquetes foi utilizado um paquímetro analógico metálico 150mm da marca Vonder modelo PA-155 e precisão 0,05mm. A massa dos briquetes foi determinada com uma balança da marca Bel modelo Mrak 10.000 classe II de precisão 0,1g. A altura e diâmetro determinados pela média entre diferentes medições. Após determinação do volume do briquete, considerado um cilindro, calculou-se a densidade através da fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Equação 7.}$$

ρ =densidade do briquete, g/cm³;

m = massa do briquete, g;

v = volume dos briquetes, cm³.

4.8 Determinação da Densidade Energética dos Briquetes

A densidade energética dos briquetes foi obtida a partir do produto entre a densidade média e o poder calorífico útil de cada briquete.

4.9 Análise Estatística da Densidade e Densidade Energética dos Briquetes

Para comparar densidade e densidade energética dos briquetes de diferentes resíduos, foi utilizado o delineamento fatorial com dois fatores e 36 unidades experimentais. O quadro da análise de variância (ANOVA) realizado ao nível de 1% de probabilidade, considerando 36 tratamentos (três resíduos em duas granulometrias) e 6 repetições.

Para análise estatística foi utilizado o programa SAEG 5.0.

A hipótese nula é de que não há diferença significativa entre os tratamentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção dos Briquetes de Resíduos Agrícolas

Após aferição do teor de umidade, os resíduos foram briquetados e chegou-se aos resultados da Tabela 1.

Dos resíduos de granulometria menor que 40 ABNT, apenas o coco briquetou, mesmo com teor de umidade acima do recomendado por Quirino (2002) para o processo de briquetagem de resíduos. Já para os resíduos com granulometria maior, menor que 14 ABNT, o sabugo de milho, a casca de maracujá e a casca de mandioca briquetaram.

Verificou-se que alguns dos resíduos agrícolas utilizados briquetaram com teores de umidade superiores e até inferiores aos recomendados pela literatura (8% a 12%) de briquetagem de resíduos ligno-celulósicos, que em geral é voltada para resíduos madeireiros.

Tabela 1 - Teor de umidade e resultado da briquetagem dos resíduos agrícolas estudados.

Granulometria (ABNT)	Resíduos	Teor de Umidade Base Seca(%)	Resultado
Menor que 40(40mesh)	Coco	14,25	Briquetou
	Sabugo de milho	13,60	Não Briquetou
	Casca de laranja	14,35	Não Briquetou
	Casca de maracujá	16,30	Não Briquetou
	Casca de mandioca	14,95	Não Briquetou
Menor que 14(12 Mesh)	Coco	16,30	3 briquetaram
	Sabugo de milho	14,90	Briquetou
	Casca de laranja	12,30	Não Briquetou
	Casca de maracujá	7,50	Briquetou
	Casca de mandioca	11,70	Briquetou

Uma possível razão para explicar os resíduos que não briquetaram foi o teor de umidade. Para avaliar esta razão, os resíduos que não briquetaram foram deixados por 3 horas na estufa a 40°C para redução da umidade. O coco, menor que 14 ABNT(12 Mesh) briquetou

parcialmente. As três primeiras tentativas de briquetagem foram bem sucedidas, mas o resíduo absorveu umidade durante o processo e as tentativas seguintes de briquetagem não geraram resultado satisfatório, pois os briquetes racharam. Então os resíduos, assim como os que não briquetaram, foram secos em estufa, novamente.

A umidade foi aferida e os materiais novamente briquetados, chegando ao resultado apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade dos resíduos agrícolas e resultado da briquetagem.

Granulometria(ABNT)	Resíduos	Teor de Umidade Base Seca(%)	Resultado
Menor que 40(40mesh)	Sabugo de milho	7,50	Briquetou
	Casca de laranja	5,80	Apenas 1
	Casca de maracujá	7,50	Briquetou
	Casca de mandioca	8,60	Não Briquetou(Fendas)
Menor que 14(12 Mesh)	Coco	9,30	Briquetou
	Casca de laranja	9,30	Não Briquetou

Dos resíduos de granulometria menor que 40 ABNT, o sabugo de milho e a casa de maracujá que com teores de umidade superiores não briquetaram, após a redução foi possível produzir os briquetes.

Com a casca de laranja, conseguiu-se produzir apenas 1 briquete inteiro, mesmo assim, esse apresentou um formato achatado, largo nas extremidades e mais fino na porção central. Os outros briquetes desse material racharam conforme Figura 5.



Figura 5: Briquetes de casca de laranja menor que 40 ABNT

Os briquetes de casca de mandioca apresentaram fendas ao entrarem em contato com temperatura ambiente, por isso como resultado foi considerado que não briquetaram (Figura 6).



Figura 6: Briquetes de casca de mandioca menor que 40 ABNT

Com a granulometria menor que 14 ABNT o coco, após redução da umidade, se tornou briquetável, já a casca de laranja não briquetou. Observou-se que os briquetes de casca de laranja saíam muito moles da máquina e se despedaçavam (Figura7).



Figura7: Briquetes de casca de laranja menor que 14ABNT

Observou-se que a casca de laranja de granulometria menor que 40 ABNT readquirira umidade, sendo necessária nova redução. A umidade da casca de mandioca de mesma granulometria também foi reduzida para um novo teste de briquetagem que teve como resultado apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Teor de umidade e resultado da briquetagem dos resíduos de casca de laranja e de mandioca.

Granulometria(ABNT)	Resíduos	Teor de Umidade Base Seca(%)	Resultado
Menor que 40(40mesh)	Casca de laranja	5,80	Não Briquetou
	Casca de mandioca	5,80	Não Briquetou (Fendas)

Uma explicação para que a casca de laranja, nas diferentes granulometrias não tenham briquetado é o baixo teor de lignina, cerca de 1% (ORSKOV, 1987), que é um componente fundamental no processo de briquetagem, pois atua como um aglutinante. Já a casca de mandioca briquetou na granulometria menor que 14ABNT e não briquetou na granulometria menor que 40 ABNT.

É possível que resíduos de baixa granulometria têm suas fibras muito reduzidas o que dificulta o entrelaçamento e a ligação pelo composto aglutinante, no caso, a lignina presente no próprio componente e, conseqüentemente, a formação do briquete sem defeitos. Torna-se, portanto, mais fácil o aparecimento de fendas nos briquetes ao entrarem em contato com a temperatura ambiente.

Diferente do que é recomendado para briquetagem de resíduos, alguns resíduos como o coco (teor de umidade base seca de 14,25%), sabugo de milho (teor de umidade base seca de 7,50%) e casca de maracujá (teor de umidade base seca de 7,50%), todos de granulometria menor que 40 ABNT, briquetaram com umidades superior e inferiores, respectivamente, às recomendadas pela literatura (8% a 12%). Para granulometria menor que 14 ABNT o sabugo de milho (teor de umidade base seca de 14,90%) briquetou com umidade superior à recomendada e a casca de maracujá (teor de umidade base seca de 7,50%) com umidade inferior à recomendada por Quirino (2002), que é de 8 a 12%.

O teor de umidade base seca recomendado pela literatura para produção de briquetes de resíduos ligno-celulósicos, muito utilizada para resíduos madeireiros não é aplicável a resíduos agrícolas como os utilizados nesse trabalho.

Como resultado final do processo de briquetagem com a metodologia adotada, verificou-se que, com granulometria menor que 40 ABNT, os resíduos: coco, sabugo de milho e casca de maracujá são briquetáveis e as cascas de laranja e mandioca não briquetáveis. Com a granulometria menor que 14 ABNT, apenas a casca de laranja foi considerada, com a metodologia descrita nesse trabalho, como sendo não briquetável (Figura 8).

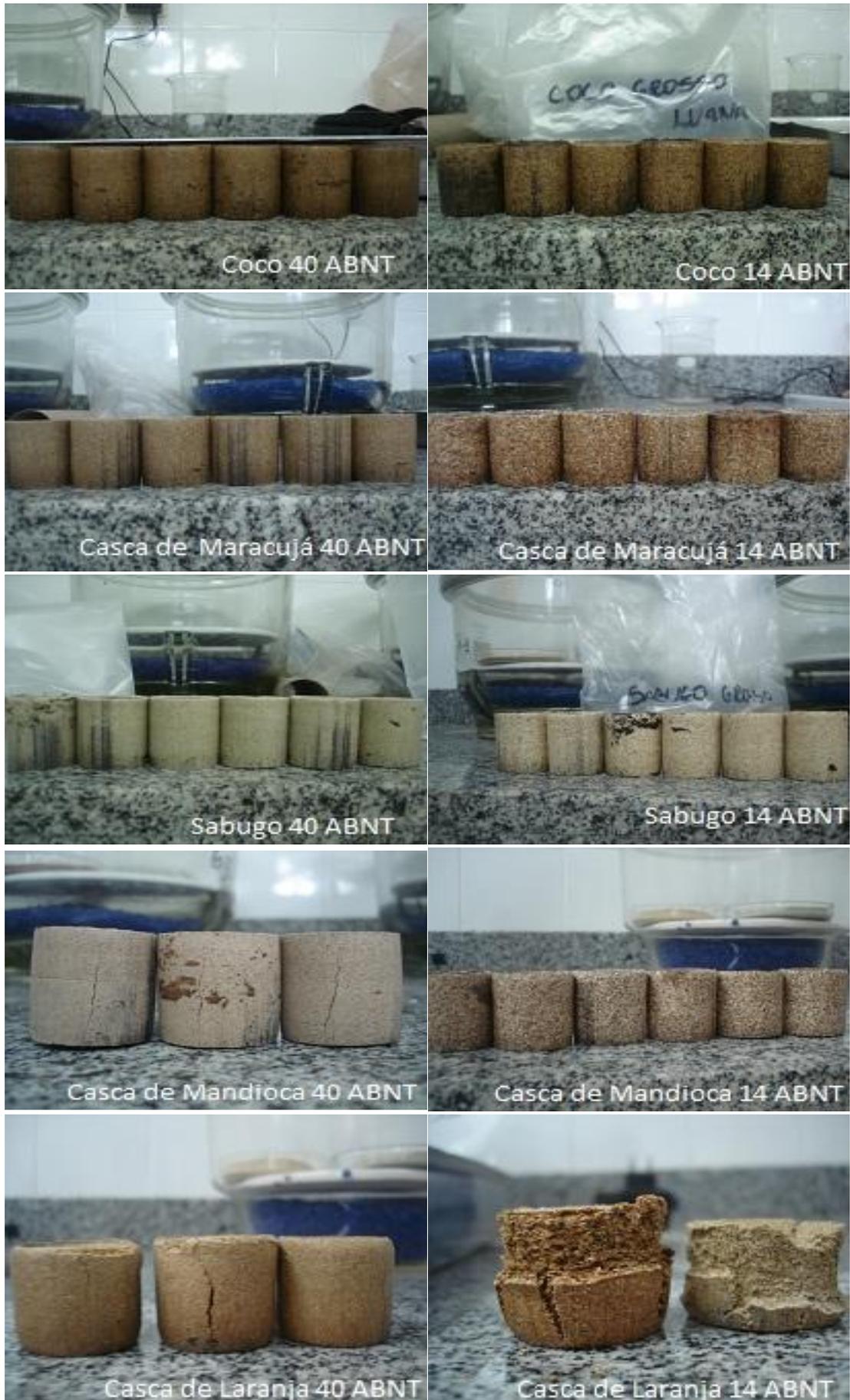


Figura 8: Resultados da briquetagem de resíduos agrícolas com granulometrias menores que 40 e 14 ABNT.

Recomenda-se o teste do uso desses resíduos considerados não briquetáveis com a metodologia de temperatura de 130°C, pressão efetiva no briquete pelo cilindro inferior de 82,38MPa e do cilindro superior com pressão efetiva no briquete pouco acima de 48,25MPa por um tempo de 5 minutos e resfriados por 10 min, para produção de briquetes produzidos com outras metodologias (pressão, temperatura e tempo de resfriamento) ou associados a outros resíduos que apresentem maiores teores de lignina.

5.1.1 Análise estatística dos teores de umidade dos materiais que briquetaram em função das granulometrias.

Foi realizada uma análise estatística das umidades para os materiais que briquetaram com fins de registro para endossar a análise da densidade energética, já que pelos poucos graus de liberdade, a análise não possuiria validade científica.

O teor de umidade médio dos materiais que briquetaram foi de 11,38% e o desvio padrão de 3,88%.

O quadro da análise de variância da umidade dos materiais que briquetaram é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: ANOVA da umidade dos materiais que briquetaram em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	13,92428	13,92428	0,914	*****
Resíduo	5	76,17499	15,23500		

Foi observado não haver diferença significativa para as umidades em que os materiais briquetaram entre as granulometrias. Porém, há um alto coeficiente de variação (34,30%), o que indica um baixo controle experimental e poucos graus de liberdade. Em termos absolutos a granulometria menor que 14 ABNT(12 Mesh) apresenta maior média de umidade (12,60 %) enquanto a granulometria menor que 40 ABNT(40 Mesh) apresenta média de (9,75%).

5.2 Análise Imediata

5.2.1 Determinação do teor de materiais voláteis

Para cada resíduo foram obtidos três valores de teor de materiais voláteis-MV(%). A norma NBR 8112 de outubro de 1986 recomenda que se faça o ensaio em duplicata, neste

trabalho optou-se por triplicata, e a diferença relativa entre os valores de teor de materiais voláteis seja inferior a 2%. No caso, nenhuma das diferenças relativas entre os valores de MV(%) foi superior ou igual a 2%.

Utilizando, como resultado final, a média entre os dois dos três teores que apresentaram menor diferença relativa foram obtidos os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de materiais voláteis dos resíduos agrícolas.

Resíduo	MV(%)
Casca de laranja	76,4282
Sabugo de milho	72,0171
Casca de mandioca	73,3405
Casca de maracujá	72,6526
Coco	71,5631

O resíduo de casca de laranja apresentou o maior teor de materiais voláteis, seguido pela casca de mandioca, enquanto o resíduo de coco foi o que apresentou o menor teor. Se comparados aos teores de materiais voláteis encontrados por Silva (2007) para resíduos de madeira, para produção de briquetes de 38mm (sem espécie definida), bagaço de cana e pé de milho, respectivamente, 78,66%, 75,64% e 72,14%, foi observado não haver grandes diferenças já que todos os valores estavam na faixa de 70%. Já Brito (1982) afirma que a faixa está entre 75 e 85% para madeira.

5.2.2 Determinação do teor de cinza

Utilizando, como resultado final, a média entre os dois dos três teores que apresentaram menor diferença relativa foram obtidos os valores apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Teor de cinza dos resíduos agrícolas

Resíduo	CZ (%)
Casca de laranja	4,5359
Sabugo de milho	17,3929
Casca de mandioca	7,5154
Casca de maracujá	9,0587
Coco	4,7154

A diferença relativa entre os valores médios de teor de cinza do mesmo resíduo foi inferior a 10%.

Os resíduos que apresentaram teores de cinzas elevados se comparados com o teor de cinza da madeira, por exemplo, madeira de eucalipto que está em torno de 1% (SILVA,2007). Entre os resíduos os menores teores de cinzas foram encontrados para a casca de laranja e o coco. O sabugo de milho apresentou o maior teor. Uma possível explicação é que as plantas de menor sazonalidade apresentam alta capacidade de incorporação de nutrientes minerais por unidade volumétrica e pouca produção de biomassa. Ou seja, se comparada às árvores, apresentam maior quantidade de nutrientes por quantidade de biomassa formada.

Silva (2007) encontrou valores de teores de cinza para briquetes de resíduos de madeira de 38mm de 1,34%, 6,32% para bagaço de cana e 5,62% para briquetes de pé de milho.

5.2.3 Determinação do teor de carbono fixo

Os valores médios dos teores de carbono fixo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios de teor de carbono fixo dos resíduos agrícolas.

Resíduo	CF (%)
Casca de laranja	19,0359
Sabugo de milho	10,5900
Casca de mandioca	19,1441
Casca de maracujá	18,2887
Coco	23,7215

O coco foi o resíduo agrícola que apresentou maior teor de carbono fixo, seguido pelos resíduos de casca de laranja e casca de mandioca. O resíduo que apresentou menor teor de carbono fixo foi o de sabugo de milho, devido ao seu alto teor de cinza. Silva (2007) encontrou, para madeira, um teor de 20,01% não sendo muito diferente dos encontrados para os resíduos agrícolas utilizados no presente estudo.

5.3 Determinação do Poder Calorífico

Os resultados encontrados para valores de poder calorífico são apresentados nos sub-itens a seguir.

5.3.1 Determinação do poder calorífico superior

Os resultados de poder calorífico superior para os resíduos agrícolas do presente trabalho são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Poder calorífico superior dos resíduos agrícolas.

Resíduo	PCS Maior (kcal/kg)	PCS Menor (kcal/kg)	PCS Médio (kcal/kg)	PCS Médio (kJ/kg)
Casca de laranja	4.148	4.115	4.131	17.292,4
Sabugo de milho	3.585	3.568	3.577	14.973,3
Casca de mandioca	3.575	3.571	3.573	14.956,6
Casca de maracujá	3.924	3.890	3.907	16.354,7
Coco	4.207	4.195	4.201	17.585,4

Os resíduos de coco e casca de laranja apresentaram os maiores valores de poder calorífico superior. O menor valor foi o encontrado para a casca de mandioca, o qual não foi discrepante em relação aos valores dos outros resíduos agrícolas estudados. Silva (2007) encontrou um valor de poder calorífico superior de 4952 kcal/kg para madeira e, Briane e Doit apud Quirino (2002), encontraram o valor de 4850 kcal/kg para *Eucalyptus sp.* maiores que os encontrados para resíduos agrícolas avaliados no presente estudo.

5.3.2 Determinação do poder calorífico inferior

Os resultados de poder calorífico inferior para os resíduos agrícolas do presente trabalho são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Valores médios de poder calorífico inferior de resíduos agrícolas

Resíduo	PCI (kcal/kg)	PCI (kJ/kg)
Casca de laranja	3.807,28	15.937,3
Sabugo de milho	3.252,50	13.615,0
Casca de mandioca	3.248,96	13.600,1
Casca de maracujá	3.583,00	14.998,4
Coco	3.877,26	16.230,2

Para o poder calorífico inferior os maiores valores foram obtidos a partir dos resíduos de casca de laranja, coco e casca de maracujá e o menor valor para sabugo de milho.

5.3.3 Determinação do poder calorífico útil

Para o poder calorífico útil foi considerado o teor de umidade em que os resíduos se encontram, os quais são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores médios de poder calorífico útil

Resíduo	PCU (kcal/kg)	PCU (kJ/kg)
Casca de laranja	3.513,5	14.707,3
Sabugo de milho	2.968,6	12.426,7
Casca de mandioca	2.995,2	12.537,8
Casca de maracujá	3.321,6	13.904,1
Coco	3.429,5	14.356,0

O maior valor de poder calorífico útil foi obtido utilizando o resíduo de casca de laranja e casca de maracujá e o menor pelo sabugo de milho. Silva (2007) encontrou o valor de 4133 kcal/kg para briquetes de madeira, o qual apresenta um valor bem superior aos encontrados para os resíduos agrícolas avaliados no presente estudo.

5.4 Determinação da Densidade

A densidade média dos briquetes por resíduo e granulometria bem como o desvio padrão das seis repetições são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Densidade dos briquetes de resíduos agrícolas.

Granulometria(ABNT)	Resíduos	Densidade (g/cm³)	DP(g/cm³)
Menor que 40(40mesh)	Coco	1,1772	0,0169
	Sabugo de milho	1,4043	0,0388
	Casca de maracujá	1,3445	0,0029
Menor que 14(12 Mesh)	Coco	1,2245	0,0598
	Sabugo de milho	1,1372	0,0185
	Casca de maracujá	1,3564	0,0116
	Casca de mandioca	1,2747	0,0197

5.4.1 Análise estatística da densidade dos briquetes

Os briquetes de resíduos agrícolas de casca de mandioca não foram utilizados na análise estatística, pois não foi possível compará-los em função das granulometrias e interação entre o material e a granulometria, já que não foi possível produzir os briquetes desse material com granulometria menor que 40 ABNT.

O termo “materiais” foi utilizado para identificar os resíduos agrícolas para não confundir com o termo “resíduo” da estatística.

A média das densidades para os briquetes de casca de maracujá, coco e sabugo de milho foi de 1,27g/cm³ e o desvio de 0,10g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: ANOVA da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,043278	0,043278	44,331	.0000
Materiais	2	0,134429	0,067214	68,851	.0000
Granulometria x Materiais	2	0,177890	0,088945	91,110	.0000
Resíduo	10	0,029287	0,000976		

Há uma interação significativa entre materiais e granulometria, o que justifica a análise dos efeitos dos materiais dentro da granulometrias e o efeito de granulometria no material.

O coeficiente de variação observado foi de (2,45%), ou seja, menor que 10% o que indica que o experimento foi bem controlado.

5.4.1.1 Análise estatística da densidade dos briquetes para granulometria menor que 40 ABNT (Mesh) em função dos materiais.

A média das densidades para os briquetes de casca de maracujá, coco e sabugo de milho para granulometria menor que 40 ABNT foi de 1,27g/cm³ e o desvio de 0,10g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: ANOVA da densidade dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Materiais	2	0,166207	0,083104	138,224	.0000
Resíduo	15	0,009018	0,000601		

Apesar do baixo coeficiente de variação (1,87%) que indica que o experimento foi bem controlado, há uma diferença significativa entre as densidades dos briquetes dos materiais na granulometria menor que 40 ABNT (Mesh).

A comparação de médias pelo teste de Tukey é apresentada no Quadro 9.

Quadro 6: Comparação de médias pelo teste de Tukey para densidade dos briquetes.

Materiais	Dados	Médias (g/cm³)	Comparação
Sabugo de Milho	6	1,4043	A
Casca de maracujá	6	1,3445	B
Coco	6	1,1773	C

Para essa granulometria, os briquetes produzidos a partir de sabugo de milho apresentaram uma maior média de densidade seguidos pelos de casca de maracujá e pelos de coco.

5.4.1.2 Análise estatística da densidade dos briquetes para granulometria menor que 14 ABNT (12 Mesh) em função dos materiais.

A média das densidades para os briquetes de casca de maracujá, coco e sabugo de milho granulometria menor que 14ABNT (12Mesh).foi de 1,24g/cm³ e o desvio de 0,10g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12Mesh) em função dos materiais é apresentado no Quadro 7.

Quadro 7: ANOVA da densidade dos briquetes para granulometria menor que 14 ABNT (12Mesh) em função dos materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Materiais	2	0,146112	0,073056	54,066	.0000
Resíduo	15	0,020269	0,001351		

O coeficiente de variação observado foi de 2,966% o que indica um alto controle experimental.

Há uma diferença significativa entre as densidades dos briquetes dos materiais na granulometria menor que 14 ABNT (12 Mesh) e a comparação pelo teste de Tukey é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Materiais	Dados	Médias(g/cm³)	Comparação
Casca de Maracujá	6	1,3564	A
Coco	6	1,2245	B
Sabugo de Milho	6	1,1372	C

Para a granulometria menor que 14 ABNT, os briquetes produzidos a partir da casca de maracujá apresentaram a maior média de densidade, seguido pelos de coco e pelos de sabugo de milho.

5.4.1.3 Análise estatística da densidade dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.

A média das densidades para os briquetes de sabugo de milho foi de 1,27g/cm³ e o desvio de 0,14g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias é apresentado no Quadro 9.

Quadro 9: ANOVA da densidade dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,214054	0,214054	231,483	.0000
Resíduo	10	0,009247	0,000925		

Há uma diferença significativa em termos de densidade entre as granulometrias para os briquetes produzidos a partir de sabugo de milho sendo o experimento considerado bem controlado devido ao baixo coeficiente de variação (2,39%). O resultado da comparação de médias pelo teste de Tukey é apresentado no Quadro 10.

Quadro 10: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Granulometria	Dados	Médias(g/cm³)	Comparação
Menor que 40 ABNT (40 Mesh)	6	1,4043	A
Menor que 14 ABNT (12 Mesh)	6	1,1372	B

Para os briquetes produzidos a partir de sabugo de milho, os da granulometria menor que 40 ABNT apresentaram uma maior média de densidade em relação aos produzidos com a granulometria menor que 14 ABNT.

5.4.1.4 Análise estatística da densidade dos briquetes de coco em função das granulometrias.

A média das densidades para os briquetes de coco foi de 1,20g/cm³ e o desvio de 0,05g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes de coco em função das granulometrias é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: ANOVA da densidade dos briquetes de coco em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,006693	0,006693	3,463	.09236
Resíduo	10	0,019325	0,001933		

Não há diferença significativa a 1% de probabilidade quanto a densidade dos briquetes de coco nas duas granulometrias apesar de este material apresentar o maior coeficiente de variação em relação aos outros (3,66%), ainda assim inferior a 10%, o que indica um experimento bem controlado.

5.4.1.5 Análise estatística da densidade dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.

A média das densidades para os briquetes de casca de maracujá foi de 1,35g/cm³ e o desvio de 0,01g/cm³.

O resultado da análise de variância da densidade dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias é apresentado no Quadro 12.

Quadro 12: ANOVA da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,000421	0,000421	5,892	.03561
Resíduo	10	0,000715	0,000072		

Não há diferença significativa quanto à densidade energética dos briquetes de casca de maracujá nas duas granulometrias a 1% de probabilidade, mas a 5% há diferença significativa, sendo a granulometria menor que 14 ABNT a que apresenta maior média de densidade energética. O resultado da comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade é apresentado no Quadro 13.

Quadro 13: Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Granulometria	Dados	Médias (g/cm ³)	Comparação
Menor que 14 ABNT (12 Mesh)	6	1,3564	A
Menor que 40 ABNT (40 Mesh)	6	1,3445	B

O experimento foi considerado bem controlado devido ao baixo coeficiente de variação (0,63%).

5.5 Determinação da Densidade Energética dos Briquetes de Resíduos Agrícolas

Os valores médios de densidade energéticos obtidos pela média das densidades energéticas dos seis briquetes por resíduo e granulometria são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Densidade energética dos briquetes de resíduos agrícolas.

Granulometria (ABNT)	Resíduos	Densidade Energética (kcal/m ³)	DP(kcal/m ³)	Densidade Energética (MJ/m ³)
Menor que 40(40mesh)	Coco	4.037.406,9	58.097,6	16.900,6
	Sabugo de milho	4.168.831,8	115.307,7	17.450,7
	Casca de maracujá	4.465.813,6	9.602,0	18.693,9
Menor que 14(12 Mesh)	Coco	4.199.370,7	205.189,7	17.578,6
	Sabugo de milho	3.375.879,3	54.806,8	14.131,4
	Casca de maracujá	4.505.264,0	38.533,2	18.859,0
	Casca de mandioca	3.817.886,1	58.974,0	15.981,7

*Os briquetes de coco menor que 14 ABNT apresentaram alto desvio padrão (DP) por terem sido produzidos em diferentes umidades. Os três primeiros briquetes desse material (umidade base seca de 16,30%) apresentaram densidade energética média de 4.016.702,67kcal/m³ e desvio padrão de 61.210,78kcal/m³. Já os que foram produzidos com umidade base seca de 9,30% apresentaram densidade energética média de 4.382.038,63 kcal/m³ e desvio padrão de 37.516,61kcal/m³.

Os briquetes que apresentaram maior densidade energética foram os produzidos com casca de maracujá nas granulometrias menor que 14 ABNT e menor que 40 ABNT, seguidos pelo de coco menor que 14 ABNT e pelo de sabugo de milho menor que 40 ABNT .

Os briquetes que apresentaram menor densidade energética em termos médios foram os de sabugo de milho menor que 14 ABNT, seguidos pelos de casca de mandioca menor que 14 ABNT.

5.5.1 Análise estatística da densidade energética dos briquetes

Na análise estatística foram utilizadas as densidades energéticas de cada briquete dos resíduos de coco, sabugo de milho e casca de maracujá, já que com a metodologia utilizada não foi possível produzir briquetes de casca de laranja e de mandioca na granulometria menor que 40 ABNT.

Os briquetes de casca de mandioca não foram utilizados na análise estatística, pois não seria possível compará-los em função das granulometrias e interação entre o material e a granulometria, já que não foi possível produzir os briquetes desse material a menor que 40 ABNT.

O termo “materiais” foi utilizado para identificar os resíduos agrícolas para não confundir com o termo “resíduo” da estatística.

5.5.1.1 Análise estatística da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.

Os valores de densidade energética foram divididos por 1.000.000 para facilitar os cálculos na análise estatística, o que não afetou o coeficiente de variação e a significação, alterando, apenas o valor, em termos de casas decimais, da soma dos quadrados (S.Q.) e quadrado médio (Q.M.), da média e do desvio. Sendo esses dois últimos convertidos para valores reais posteriormente.

A média de densidade energética para os briquetes casca de maracujá, coco e sabugo de milho foi de 4.125.428,0kcal/m³ e o desvio de 390.572,3kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais é apresentado no Quadro 14.

Quadro 14: ANOVA da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,349918	0,3499180	33,139	.0000
Materiais	2	3,052674	1,526337	144,552	.0000
Granulometria x Materiais	2	1,619768	0,8098841	76,700	.0000
Resíduo	30	0,316772	0,0105591		

Há uma interação significativa entre materiais e granulometria, o que justifica a análise dos efeitos dos materiais dentro da granulometrias e o efeito de granulometria no material.

O coeficiente de variação é baixo (2,49%), ou seja, menor que 10% o que indica que o experimento foi bem controlado.

5.5.1.2 Análise estatística da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 40 ABNT (Mesh) em função dos materiais.

A média de densidade energética para os briquetes casca de maracujá, coco e sabugo de milho na granulometria fundo de 40 ABNT foi de 4.224.017,0kcal/m³ e o desvio de 197.308,9kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais é apresentado no Quadro 15.

Quadro 15: ANOVA da densidade energética dos briquetes em função da granulometria, materiais e da interação entre granulometrias e materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Materiais	2	0,578006	0,289003	51,720	.0000
Resíduo	15	0,083817	0,005588		

Apesar do baixo coeficiente de variação (1,77%) que indica que o experimento foi bem controlado, há uma diferença significativa entre as densidades energéticas dos briquetes dos materiais na granulometria menor que 40 ABNT (Mesh).

O resultado da comparação de médias pelo teste de Tukey é apresentado no Quadro 16.

Quadro 16: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Materiais	Dados	Médias (kcal/m ³)	Comparação
Casca de maracujá	6	4,4658x10 ⁶	A
Sabugo de milho	6	4,1688x10 ⁶	B
Coco	6	4,0374x10 ⁶	B

Para essa granulometria, os briquetes produzidos a partir de casca de maracujá apresentaram uma maior média de densidade energética, seguido pelos de sabugo de milho e pelos de coco. Esses últimos não apresentaram diferença significativa entre si.

5.5.1.3 Análise estatística da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12 Mesh) em função dos materiais.

A média de densidade energética para os briquetes casca de maracujá, coco e sabugo de milho na granulometria fundo de 14 ABNT foi de 4.026.838,0kcal/m³ e o desvio de 504.531,9kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes de resíduos agrícolas para granulometria menor que 14 ABNT (12 Mesh) em função dos materiais é apresentado no Quadro 17.

Quadro 17: ANOVA da densidade energética dos briquetes para granulometria menor que 14ABNT (12 Mesh) em função dos materiais.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Materiais	2	4,094434	2,047217	131,819	.0000
Resíduo	15	0,2329578	0,01553052		

Há uma diferença significativa entre as densidades energéticas dos briquetes dos materiais na granulometria menor 14 ABNT (12 Mesh). O coeficiente de variação baixo (3,10%) indica alto controle experimental. O resultado da comparação de média pelo teste de Tukey é apresentado no Quadro 18.

Quadro 18: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Materiais	Dados	Médias(kcal/m ³)	Comparação
Casca de Maracujá	6	4,5053x10 ⁶	A
Coco	6	4,1994x10 ⁶	B
Sabugo de Milho	6	3,3759x10 ⁶	C

Para a granulometria menor que 14 ABNT, os briquetes produzidos a partir da casca de maracujá apresentaram a maior média de densidade energética, seguido pelos de coco e pelos de sabugo de milho.

5.5.1.4 Análise estatística da densidade energética dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.

A média de densidade energética para os briquetes sabugo de milho foi de 3.772.356,0kcal/m³ e o desvio de 422.957,0kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias é apresentado no Quadro 19.

Quadro 19: ANOVA da densidade energética dos briquetes de sabugo de milho em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	1,886320	1,886320	231,456	.0000
Resíduo	10	0,08149815	0,008149815		

Há uma diferença significativa em termos de densidade energética entre as granulometrias para os briquetes produzidos a partir de sabugo de milho sendo o experimento considerado bem controlado devido ao coeficiente de variação igual a 2,39%. O resultado da comparação de média pelo teste de Tukey é apresentado no Quadro 20.

Quadro 20: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Granulometria	Dados	Médias(kcal/m ³)	Comparação
Menor que 40 ABNT (40 Mesh)	6	4,1688x10 ⁶	A
Menor que 14 ABNT (12 Mesh)	6	3,3759x10 ⁶	B

Para os briquetes produzidos a partir de sabugo de milho, os da granulometria menor que 40 ABNT apresentaram uma maior média de densidade energética em relação aos produzidos com a granulometria menor que 14 ABNT.

5.5.1.5 Análise estatística da densidade energética dos briquetes de coco em função das granulometrias.

A média de densidade energética para os briquetes coco foi de 4.118.389,0kcal/m³ e o desvio de 166.811,6kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes de coco em função das granulometrias é apresentado no Quadro 21.

Quadro 21: ANOVA da densidade energética dos briquetes de coco em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,078697	0,078697	3,461	.09246
Resíduo	10	0,227391	0,022739		

Não há diferença significativa a 1% de probabilidade quanto a densidade energética dos briquetes de coco nas duas granulometrias apesar de este material apresentar o maior coeficiente de variação em relação aos outros (3,66%), ainda assim inferior a 10%, o que indica um experimento bem controlado.

5.5.1.6 Análise estatística da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.

A média de densidade energética para os briquetes casca de maracujá foi de 4.485.538,0kcal/m³ e o desvio de 33.782,6kcal/m³.

O resultado da análise de variância da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias é apresentado no Quadro 22.

Quadro 22: ANOVA da densidade energética dos briquetes de casca de maracujá em função das granulometrias.

Fontes de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Significação
Granulometria	1	0,004669	0,004669	5,921	.03525
Resíduo	10	0,007885	0,0007885		

Não há diferença significativa quanto à densidade energética dos briquetes de casca de maracujá nas duas granulometrias a 1% de probabilidade, mas a 5% há diferença significativa, sendo a granulometria fundo de 14 ABNT a que apresenta maior média de densidade energética. O resultado da comparação de média pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade é apresentado no Quadro 23.

Quadro 23: Comparação de médias pelo teste de Tukey.

Granulometria	Dados	Médias(kcal/m ³)	Comparação
Menor que 14 ABNT (12 Mesh)	6	4,5053x10 ⁶	A
Menor que 40 ABNT (40 Mesh)	6	4,4658x10 ⁶	B

O coeficiente de variação é muito baixo (0,63%), o que indica um alto controle na execução do experimento.

Apesar de os briquetes de sabugo de milho apresentarem densidade significativamente superior aos de casca de maracujá, e briquetarem no mesmo teor de umidade na granulometria menor que 40 ABNT, os briquetes de casca de maracujá apresentaram maior densidade energética devido ao maior poder calorífico útil.

Na granulometria menor que 14 ABNT (12 Mesh) os briquetes de coco, mesmo sendo briquetáveis a umidade (em termos absolutos) superior à dos briquetes de sabugo de milho, apresentam densidade energética significativamente superior dos briquetes do último por suas características químicas.

6. CONCLUSÃO

Para produção de briquetes, com a metodologia de temperatura de 130°C, pressão efetiva no briquete pelo cilindro inferior de 82,38MPa e do cilindro superior com pressão efetiva no briquete pouco acima de 48,25MPa por um tempo de 5 minutos e resfriados por 10 min, com granulometria menor que 40 ABNT, os resíduos: coco, sabugo de milho e casca de maracujá são briquetáveis e as cascas de laranja e mandioca não briquetáveis. Com a granulometria menor que 14 ABNT, apenas a casca de laranja foi considerada, com a metodologia descrita nesse trabalho, como sendo não briquetável.

O teor de umidade base seca recomendado pela literatura (8% a 12%) para produção de briquetes de resíduos ligno-celulósicos, muito utilizada para resíduos madeireiros não é totalmente aplicável a resíduos agrícolas como os utilizados nesse trabalho.

Quanto à análise imediata, o resíduo que apresentou as melhores propriedades, maior teor de materiais voláteis, menor teor de cinza e maior teor de carbono fixo foi a casca de laranja e o que apresentou as piores propriedades foi o sabugo de milho. Considerando os briquetáveis, o coco se destacou, seguido pela casca de mandioca e casca de maracujá. Esses apresentaram propriedades intermediárias se comparados aos outros resíduos.

Enfim, para a metodologia utilizada, os briquetes de casca de maracujá apresentaram maiores médias de densidade energética nas duas granulometrias sendo portanto melhores do ponto de vista energético. Os briquetes de sabugo de milho foram os que menos se destacaram, possuindo menor poder calorífico útil e maior teor de cinzas, que é prejudicial do ponto de vista industrial. Já os briquetes de coco foram considerados intermediários quanto ao poder calorífico e densidade energética apesar de se destacar quanto à análise imediata.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se o teste do uso desses resíduos considerados não briquetáveis com a metodologia de temperatura de 130°C, pressão efetiva no briquete pelo cilindro inferior de 82,38MPa e do cilindro superior com pressão efetiva no briquete pouco acima de 48,25MPa por um tempo de 5 minutos e resfriados por 10 min, para produção de briquetes produzidos com outras metodologias (pressão, temperatura e tempo de resfriamento) ou associados a outros resíduos como a casca de maracujá que apresentou a maior densidade energética ou resíduos madeireiros. Recomenda-se também estudar a viabilidade da produção de briquetes de casca de laranja com o bagaço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8112, Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8633, Rio de Janeiro, 1984.

BARBOSA, F.A. **Alimentos na nutrição de bovinos**, Produção Animal da Escola de Veterinária/UFMG - junho/2004.

BENEDETTI, S.; AMANTE, E.R.; REZZADORI, K. **Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja**. São Paulo, 2009. Acesso: 12/09/2011. <<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/6a/4/K.%20Rezzadori%20-%20apresentacao%20-%206A-4.pdf>>.

BOOG, G. E.; BIZZO, A. W.; VALE, L. T. **Avaliação do potencial energético dos resíduos de campo da cultura da mandioca**. *Revista Raízes e Amidos Tropicais* v. 3 Campinas, SP., 2007.

BRITO, J.O. **Expressão da produção florestal em unidades energéticas.** P. 280-82. In: 1º Congresso Florestal Panamericano e 7º Congresso Florestal Brasileiro. Curitiba-Pr. 1993.

BRITO,J.O.; BARRICHELO,L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis.** In: Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, 2, 1982, São Paulo. P.101-137.

CAIRES,R.R. **Briquetagem-Biomassa.** UNICAMP, Campinas, 2010. Acesso: 19/03/2012. <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA-X4AF/briquetagem-biomassa>>.

CARVALHO, E.A.;BRINK,V. **Briquetagem.** Centro de Tecnologia Mineral, Ministério da Ciência e Tecnologia- CETEM, Comunicação Técnica elaborada para a 4^a Ed. Tratamento de Minérios, p. 613 a 636, Rio de Janeiro,2004.

GENTIL, L.V.B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira** (Tese de Doutorado em Engenharia Florestal),Brasília, UnB, 2008.

GIOMO, G S. **Informações eletrônicas.** Centro de Café-Área de Fitotecnia. Instituto Agrônômico de Campinas-IAC. Campinas. 2006.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** Ed. Edusp. 234 p. São Paulo. 1998.

IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change-**Climate Change 2007: The Physical Science Basis-Summary for Policymakers.** Geneve. Switzerland. 2007.

JENKINS,B.M. **Fuel properties for biomass materials. International Symposium on Application an Management of Energy in Agriculture: The Role Biomass Fuels.** Nova Delli. 1990.

MEDINA, J.C. **Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos.** São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo, 1980. 295 p. (Série Frutas Tropicais)

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, acessado em 19 de março de 2012, disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal>.

ORSKOV, E. R. **The feeding of ruminants: principles and practice**. Chalcombe: Rowett Research Institute, 113 p. 1987.

QUIRINO, W.F. **Características de briquetes de carvão vegetal a seco na combustão. 1991. 80p (Dissertação de (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba: ESALQ, 1991**

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais –MMA, DIREF,LPF. Brasília, 2002.**

ROSSILO-CALLE, F. **Uma breve análise do potencial da biomassa no Brasil**. Biomassa & Energia, V1, N 3, 225-236. 2004.

SIDRA, IBGE acesso: 29/02/2012 Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/>.

SILVA, D.A. Análise laboratorial para avaliação da qualidade de briquetes para fins energéticos para empresa Bripell.Fupec. Curitiba. 2007. Acesso 26/05/2012. Disponível em: http://bripell.com/analises/Analise%20Briquetes_Universidade%20Federal%20do%20Paran%E1.pdf

SILVA, R.S. **Reproveite suas frutas**. 2006. Acesso 29/02/2012. <http://cyberdiet.terra.com.br/reproveite-suas-frutas-2-1-1-475.html>.

TABARÉS, J. L. M. *et al.* **Feasibility study of energy use for densified lignocellulosic materials (briquettes)**. Ed. Elsevier Science Ltd. Fuel. V. 79, n 10, junho 2000. p 1229-1237. 2000.

TAKAHASHI, M.; FAGIOTTO, R. Balanço em Massa de Industria de Farinha de Mandioca em da Região de Paranaíba. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 4, 1990, Londrina-PR, **Anais...** Londrina, 1990.

TIENNE, L.; DESCHAMPS, M. C.; ANDRADE, A. M. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço da laranja (*Citrus sinensis*). **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 191-197, 2004.

VIANNA, A.; VIEIRA, L. S. R.; NACIMENTO, M. V. G. **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para projetos de Eletrificação Rural** – Energia Biomassa – versão 1. In: CEPEL - RELATÓRIO TÉCNICO ADG-A / PER - 789/2000. Acesso: 03/02/2007 <<http://www.cepel.br/~per/download/rer/rt-789-00.pdf>>.