



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.) e EUCALIPTO

Cynthia Patricia de Sousa Santos¹
Rosimeire Cavalcante dos Santos²
Angélica de Cássia Oliveira Carneiro³
Renato Vinícius Oliveira Castro⁴
Ana Flávia Neves Mendes Castro⁵
Sarah Esther de Lima Costa⁶
Izabelle Rodrigues Ferreira Gomes¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte

² UNIDADE ACADÊMICA ESPECIALIZADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS / Universidade Federal do Rio Grande do Norte

³ UFV -DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL / Universidade Federal de Viçosa

⁴ Universidade de Brasília

⁵ Universidade Federal de São João del-Rei

⁶ UNIDADE ACADEMICA ESPECIALIZADA EM CIENCIAS AGRARIAS / ESCOLA AGRICOLA DE JUNDIAI / Universidade Federal do Rio Grande do Norte



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.) e EUCALIPTO

Resumo: Os resíduos agroflorestais são pouco explorados e parte são desperdiçados acumulando-se no meio ambiente, a exemplos: o resíduo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), gerado na extração de óleo para o biodiesel e o resíduo de eucalipto obtido na exploração da madeira. Objetivou-se a produção e avaliação da qualidade de briquetes produzidos com resíduos de pinhão manso e resíduos de Eucalipto. Caracterizou-se os resíduos a partir da determinação da densidade a granel, composição química imediata e poder calorífico superior. Na produção dos briquetes foram estabelecidos cinco tratamentos, sendo: T1 – 100% Eucalipto, T2 - 75% Eucalipto e 25% Pinhão Manso, T3 - 50% Eucalipto e 50% Pinhão Manso, T4 - 75% Pinhão Manso e 25% Eucalipto e T5 - 100% Pinhão Manso. Adotou-se os seguintes parâmetros de briquetagem: temperatura de 120° C, pressão de 1500 PSI, tempos de prensagem e resfriamento de 5 minutos e umidade média de 7,71% para o Eucalipto e 8,22% para o Pinhão Manso. Para qualificar os briquetes determinou-se as dimensões, densidade aparente, densidade energética, carga de ruptura, poder calorífico inferior, poder calorífico útil e umidade de equilíbrio higroscópico. Conclui-se que o resíduo de Eucalipto apresentou melhores índices de densidade a granel, densidade energética, teor de carbono fixo, teor de cinzas, poder calorífico superior e poder calorífico útil. Recomenda-se os tratamentos 2 e 3, com pouca proporção de pinhão manso para garantir a alta densidade aparente e melhorar a resistência à carga de ruptura, e não interferir na qualidade química e energética dos briquetes.

Palavras-chave: briquetagem; geração de energia; resíduos agroflorestais.

QUALITY OF BRIQUETS PRODUCED WITH WASTES FROM PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.) and EUCALYPTUS

Abstract: The agroforestry residues are little explored and some are wasted accumulating in the environment, for example: the residue of *Jatropha curcas* L., generated in the extraction of oil for the biodiesel and the residue of eucalyptus obtained in the exploitation of the wood. The objective was to produce and evaluate the quality of briquettes produced with *Jatropha* residues and Eucalyptus residues. The residues were characterized from bulk density determination, immediate chemical composition and higher calorific value. In the production of briquettes, five treatments were established: T1 - 100% Eucalyptus, T2 - 75% Eucalyptus and 25% Pinhão Manso, T3 - 50% Eucalyptus and 50% Pinhão Manso, T4 - 75% Pinhão Manso and 25% Eucalyptus e T5 - 100% Pinhão Manso. The following briquetting parameters were adopted: temperature of 120 ° C, pressure of 1500 PSI, pressing and cooling times of 5 minutes and average humidity of 7.71% for Eucalyptus and 8.22% for Pinhão Manso. In order to qualify the briquettes the dimensions, apparent density, energy density, burst load, lower calorific value, useful calorific value and hygroscopic equilibrium moisture were determined. It was concluded that Eucalyptus residue had better bulk density, energy density, fixed carbon content, ash content, higher calorific value and useful calorific value. Treatments 2 and 3 are recommended, with a low proportion of *jatropha* to ensure high apparent density and improve resistance to bursting load, and not to interfere with the chemical and energetic quality of the briquettes.

Keywords: briquetting; power generation; agroforestry waste.

1. INTRODUÇÃO

Todas as atividades de processamento de matérias primas geram subprodutos, que na sua grande parte são desperdiçados. Nas atividades agrícolas e florestais, não é diferente,

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

visto que são setores de alta produtividade e fundamentais para a economia do país. Sendo assim, as atividades agroflorestais geram resíduos que em sua maioria são pouco explorados e acumulam-se no meio ambiente.

No âmbito agrícola, o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), é uma planta explorada para produção de biodiesel por apresentar vantagens competitivas quanto ao seu período produtivo. No entanto, essa atividade resulta em uma quantidade significativa de resíduos, uma vez que o epicarpo é rejeitado após o processo. No âmbito florestal, a exploração do eucalipto também produz subprodutos, como ponteiros e galhos que são dispensados durante a colheita e o corte do lenho.

Para Dias et al. (2012), a quantidade de biomassa residual de atividades agrícolas e florestais das empresas brasileiras, visto que são uma das maiores produtoras do mundo, representa um grande depósito de energia que pode ser aproveitado como pellets e briquetes. Segundo Silva (2007) os briquetes são produzidos a partir da compactação de resíduos lignocelulósicos, utilizando-se pressão e temperatura.

A briquetagem de resíduos de eucalipto já é realizada e diversos autores recomendam o seu uso, da mesma forma, os resíduos pinhão manso já foram caracterizados e recomendados para promoção de briquetes energéticos. No entanto, é necessário realizar o estudo de briquetes com diferentes proporções desses resíduos.

Portanto, o objetivo do trabalho é produzir e avaliar a qualidade de briquetes produzidos com resíduos de pinhão manso e resíduos de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa/MG.

O material foi inicialmente triturado em moinho martelo com malha de 2 mm. Em seguida, foram novamente submetidos ao moinho, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998). Utilizou-se peneiras nº 16 internacional, com malha de 40 mesh e nº 24 internacional, com malha de 60 mesh, (American Society for Testing and Materials - ASTM, 1982), sendo utilizada a porção retida na peneira de 60 mesh.

A densidade a granel (DG) foi realizada seguindo-se a metodologia adaptada e descrita pela norma EN 15103: DIN (2010), onde se utilizou um Becker com volume de 0,001 m³, que foi preenchido com as amostras a serem analisadas, e em seguida procedeu-se a aferição da massa. A massa total obtida foi subtraída da massa do Becker e dessa forma obteve-se a massa das amostras, em kg. De acordo com a fórmula (1):

$$DG = M/V \quad (1)$$

Em que:

M = massa inserida no becker (kg);

V = volume do becker (m³).

A composição química imediata foi determinada de acordo com os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 8112 (1986).

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

O Poder Calorífico Superior (PCS) foi determinado seguindo-se a norma ABNT NBR 8633 (1984), utilizando uma bomba calorimétrica adiabática.

Os briquetes foram produzidos em briquetadeira de laboratório da marca Lippel, modelo LB - 32. Utilizou-se temperatura de 120°C e pressão de 1500 PSI, com tempo de prensagem e de resfriamento de 5 minutos. Utilizou-se uma umidade de 7,71% para o resíduo de eucalipto e 8,22% para o resíduo de pinhão manso. Foram produzidos 25 unidades amostrais (briquetes), com 18g de resíduos cada.

As dimensões dos briquetes foram mensuradas com o auxílio de um paquímetro.

A densidade aparente foi determinada seguindo o método da balança hidrostática descrito por Vital (1984), imergindo os briquetes em mercúrio.

Determinou-se a densidade energética (MJ/m³) por meio da multiplicação do poder calorífico útil pela média da densidade aparente dos briquetes produzidos.

O Poder Calorífico Inferior (PCI) foi obtido através da equação (2):

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 324 \quad (2)$$

Para determinar o Poder Calorífico Útil (PCU) foi utilizada a fórmula (3):

$$\text{PCU} = [\text{PCI} \times (1-U)] - 600U \quad (3)$$

Em que:

U = umidade em base seca (%);

PCI = poder calorífico inferior a 0% de umidade (PCI = PCS - 324), considerando 6% de hidrogênio.

Para carga de ruptura, seguiu-se a metodologia adaptada da norma ABNT NBR ISO 11093-9 (ABNT, 2009).

A umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) dos briquetes foi determinada após terem sido acondicionados em câmara climática, sob temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65% até atingirem massa constante.

O experimento foi analisado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para as análises realizadas nos resíduos (densidade a granel, análise química imediata e poder calorífico superior); e com cinco tratamentos (Tabela 1) e cinco repetições para as análises realizadas nos briquetes (dimensões, densidade aparente, densidade energética, poder calorífico inferior, poder calorífico útil, carga de ruptura e umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes). As análises de densidade energética, poder calorífico inferior e poder calorífico útil, foram realizadas apenas para os tratamentos 1 e 5.

Tabela 1. Delineamento experimental adotado no estudo

Tratamento	Composição
------------	------------

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





T1	0% Pinhão manso + 100% Eucalipto
T2	25% Pinhão manso + 75% Eucalipto
T3	50% Pinhão manso + 50% Eucalipto
T4	75% Pinhão manso + 25% Eucalipto
T5	100% Pinhão manso + 0% Eucalipto

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors para testar a normalidade, e Cochran para testar a homogeneidade das variâncias. Em seguida, procedeu-se à análise de variância pelo teste F, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey. Considerou-se sempre o nível de significância de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa STATISTICA 8.0 (STATSOFT, INC, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 estão apresentados os valores médios dos resultados obtidos para a densidade a granel (kg/m^3), carbono fixo (%), voláteis (%), cinzas (%) e poder calorífico superior (kcal/kg) dos resíduos de eucalipto e pinhão manso para fabricação de briquetes.

Tabela 2. Valores médios da densidade a granel (kg/m^3), carbono fixo (%), voláteis (%), cinzas (%) e poder calorífico superior (kcal/kg) dos resíduos de eucalipto e pinhão manso

Propriedades	Resíduos	
	Eucalipto	Pinhão Manso
Densidade a granel (kg/m^3)	223,4 A	159,7 B
Voláteis (%)	82.7 A	72.1 A
Cinzas (%)	1.7 B	12.9 A
Carbono fixo (%)	15.5 A	15.0 A
Poder calorífico superior (kcal/kg)	4992.5 A	4034.0 B

Mesmas letras entre Resíduos (linhas), para uma mesma variável, não diferem significativamente pelo teste Tukey ($p=0,05$).

Observa-se que a densidade a granel do resíduo de eucalipto foi significativamente maior que a obtida para o resíduo de pinhão manso.

Os teores de materiais voláteis dos resíduos estudados não diferiram significativamente entre si. O teor de cinzas do resíduo de pinhão manso foi significativamente maior que o obtido para o resíduo de eucalipto. Um teor de cinzas maior que 7% é considerado alto para fontes potenciais com a finalidade de geração de energia. Analisando o epicarpo e a torta residual do pinhão manso, Oliveira Júnior et al. (2007), verificaram elevados teores de cinzas em (15,9% e 7,4% na torta residual e na casca, respectivamente), devido aos compostos inorgânicos presentes nos materiais. Os teores de carbono fixo dos resíduos estudados não diferiram significativamente entre si.



O poder calorífico do resíduo de eucalipto foi superior ao obtido para o resíduo de pinhão manso. Esse resultado deve-se, principalmente, ao menor teor de cinzas do resíduo de eucalipto. O resíduo de pinhão manso obteve valor inferior do poder calorífico devido, em parte, a influência do alto teor de cinzas (12,9 %).

Na tabela 3 são apresentados os valores médios dos diâmetros (mm), comprimentos (mm), poder calorífico inferior (kcal/kg), poder calorífico útil (kcal/kg) e densidade energética (MJ/m³) dos briquetes em função dos tratamentos.

Tabela 3. Valores médios dos diâmetros (mm), comprimentos (mm), poder calorífico inferior (kcal/kg), poder calorífico útil (kcal/kg) e densidade energética (MJ/m³) dos briquetes produzidos para cada tratamento

Propriedades	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Diâmetro (mm)	32.3 a	32.1 ab	32.1 ab	32.0 ab	32.0 b
Comprimento (mm)	20.2 a	19.3 b	18.4 c	17.5 d	16.8 d
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	1.07 e	1.12 d	1.17 c	1.23 b	1.28 a
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	4668.5 a	-	-	-	3710 b
Poder calorífico útil (kcal/kg)	4285.9 a	-	-	-	3382.6 b
Densidade energética (MJ/m ³)	29.2 a	-	-	-	18.2 b

Mesmas letras entre Resíduos (linhas), para uma mesma variável, não diferem significativamente pelo teste Tukey (p=0,05).

Observa-se que apenas os tratamentos 1 e 5 diferiram significativamente entre si. Nota-se que a medida que se aumenta o percentual de resíduo de Pinhão Manso na composição dos briquetes o diâmetro diminui. O comprimento diferiu significativamente entre todos os tratamentos, de maneira que a medida que se adiciona resíduo de Pinhão Manso, o comprimento dos briquetes diminui.

Para a densidade aparente observa-se que todos os tratamentos diferiram significativamente entre si, sendo o tratamento 5 com maior resultado (1,28 g.cm⁻³). Biomassas com maiores valores de densidade aparente geralmente promovem um aumento da densidade energética. No entanto, analisando os resultados verifica-se que o tratamento 5 que apresentou maior densidade aparente, não promoveu aumento da densidade energética.

O resultado obtido para densidade aparente foi superior a dois resíduos potenciais para fabricação de briquetes estudado por Silva et al. (2015), 0,92 g.cm⁻³ para serragem de eucalipto e 0,88 g.cm⁻³ bagaço de cana.



O poder calorífico inferior diferiu significativamente para os dois tratamentos analisados, sendo o tratamento 1 (100% resíduo de eucalipto) com maior resultado, devido ao valor do poder calorífico superior (4992.5 kcal/kg), que também foi maior que o valor obtido para o resíduo de pinhão manso.

Observa-se que o poder calorífico útil dos tratamentos analisados, diferiram significativamente entre si, com destaque para o tratamento 1 que obteve melhor resultado, devido principalmente, ao maior valor do poder calorífico inferior para esse tratamento.

Os dois tratamentos analisados para esse parâmetro diferiram significativamente entre si e que o tratamento 1 obteve maior resultado. Embora o tratamento 5 tenha melhor resultado para densidade aparente, o valor baixo do poder calorífico útil determinou sua menor densidade energética.

Segundo Vale et al. (2011), o epicarpo do pinhão manso apresenta baixa densidade energética devido ao seu baixo poder calorífico útil e sua baixa densidade a granel.

A carga de ruptura é uma análise que identifica a resistência máxima do briquete através de uma força que é aplicada sobre ele. Na figura 1 são apresentados os valores médios da resistência a carga de ruptura (kgf) dos briquetes em função dos tratamentos.

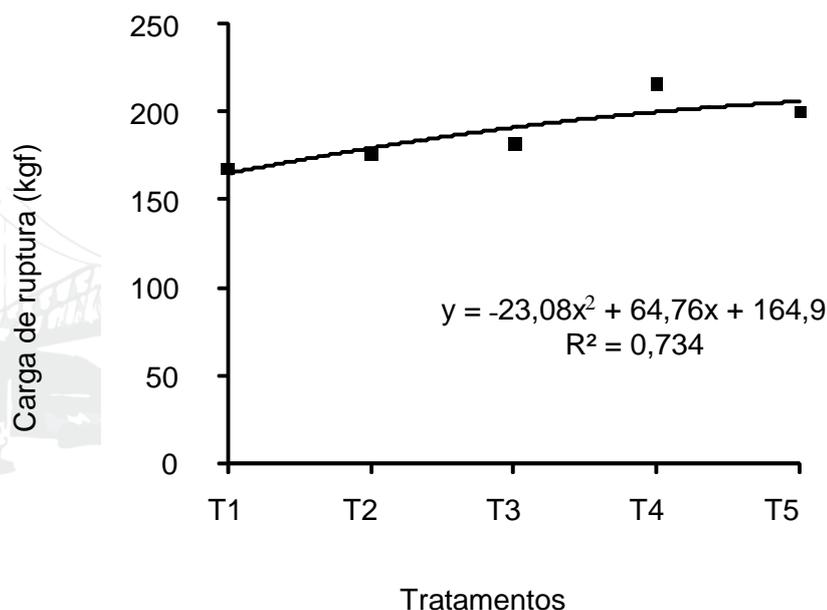


Figura 1. Valores médios da resistência a carga de ruptura (kgf) dos briquetes em função de cada tratamento.

A carga de ruptura aplicada aos briquetes seguiu comportamento semelhante à densidade aparente, ou seja, a medida que se adicionou pinhão manso na composição do briquete, a resistência mecânica aumentou.

A resistência do briquete depende de fatores como umidade, teor de lignina e densidade aparente. Dessa maneira, nota-se que os tratamentos com maiores resultados para densidade aparente (T4 e T5), também obtiveram maior resistência a carga de ruptura.



Na Figura 2 são apresentados os valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes em função dos tratamentos.

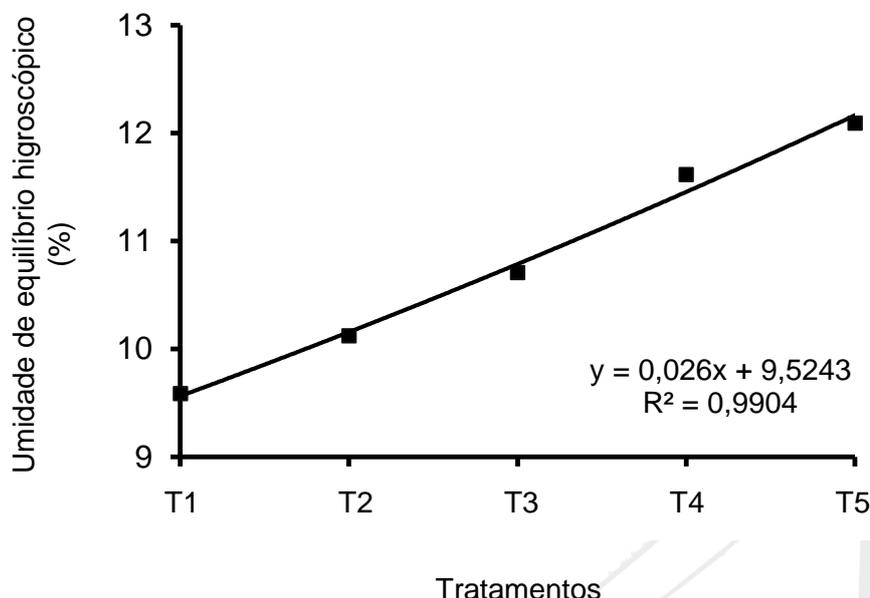


Figura 2. Valores médios da umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos briquetes em função de cada tratamento.

A higroscopicidade é a tendência que certo material possui em absorver a água presente no ar, elevando sua umidade na composição. Essa análise se torna importante, porque a partir dela se pode determinar o comportamento do briquete quando armazenado em locais com alta umidade. A absorção de umidade pelo briquete pode provocar expansões entre as partículas compactadas e conseqüentemente, há grande probabilidade de surgir rachaduras que deterioram o material.

Observa-se que a medida que se aumenta a quantidade de resíduo de pinhão manso na composição dos briquetes a umidade de equilíbrio higroscópico aumenta. Assim, os briquetes com altas composições de pinhão apresentam maior capacidade de absorção de umidade, quando comparado aos briquetes com altas proporções de eucalipto, tratamento 1 (9,58%) e 2 (10,12%).

Os valores obtidos são superiores aos encontrados por Yamaji et al. (2013) em briquetes fabricados a partir de resíduos agroflorestais sem a adição de ligantes, tais como pinus (2,56%), eucalipto (3,96%) e cana (11,56%).

4. CONCLUSÕES

O resíduo de eucalipto apresentou maior densidade a granel. Esse resíduo apresentou os melhores índices de densidade energética, teor de carbono fixo, teor de cinzas, poder calorífico superior e poder calorífico útil.

O resíduo de pinhão manso se mostrou favorável apenas para o teor de voláteis, devido a seus compostos inorgânicos.



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Embora tenha sido observado para os tratamentos 4 e 5 valores mais elevados de densidade aparente, quando comparado aos outros tratamentos, o poder calorífico superior e poder calorífico útil foram baixos, resultando em briquetes com menor densidade energética.

Os briquetes com altas proporções de eucalipto em sua composição apresentaram menor resistência à carga de ruptura quando comparados aos briquetes com composições elevadas de pinhão manso.

Os tratamentos 1 e 2 conferiram menor absorção de umidade, sendo recomendados por meio da análise da umidade de equilíbrio higroscópico.

A utilização de resíduos de pinhão manso para a fabricação de briquetes em baixas proporções, a exemplo dos tratamentos 2 e 3 (T2 e T3), permite melhor compactação dos resíduos de eucalipto, além de agregar da resistência à carga de ruptura dos briquetes.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira da Universidade Federal de Viçosa (LAPEM/UFV); à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ); e à Sociedade de Investigações Florestais (SIF).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard method for chemical analysis of charcoal. Philadelphia, 1982. 1042 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 11093-9: Papel e cartão: Ensaio de tubetes. Rio de Janeiro, 2009.

DIAS, J. M. C.; DE SOUSA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas agroindustriais e florestais. EMBRAPA – AGORENERGIA. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012.

EUROPEAN STANDARD NORME. EN 15103: Solid biofuels - Determination of bulk density. DIN EN 15103, Brussels 2010.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. B.; MARCELA, D. N.; FRAGA, A. C.; CASTRO NETO, P. Determinação dos nutrientes presentes na casca e torta de pinhão-manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 4. 2007, Varginha. Anais... Varginha, 2007. p. 1763-1770.

SILVA, C.A. Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos. 2007. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

SILVA, Diego Aleixo et al. CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSAS PARA A BRIQUETAGEM. Floresta, [s.l.], v. 45, n. 4, p.713-722, 9 set. 2015. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v45i4.39700>.

STATSOFT, Inc. STATISTICA (data analysis software system), version 8. 2009. (Software Estatístico).

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. TAPPI test methods. Atlanta: 1998. 46 p.

VALE. A. T.; MENDES, R. M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS.V. F. S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). Cerne, Lavras, v. 17, n.2, p. 267-273, 2011.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1984.

YAMAJI, F. M.; VENDRASCO, L.; CHRISOSTO, W.; FLORES, W. P. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. 2013. Disponível em: <<http://energia.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/111>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

