



CARACTERIZAÇÃO DOS BRIQUETES PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE BAMBU EM DIFERENTES TEMPERATURAS

Elias C. de SOUZA¹, Alexandre S. PIMENTA¹, Djailson S. da COSTA JÚNIOR¹, Zalenska N. F. de VASCONCELOS¹, Danielle M. LÚCIO¹, Guilherme DUARTE²

¹- Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, Brasil

²- IBIRÉ, São Paulo, Brasil.

Resumo: O presente trabalho teve por objetivo caracterizar os briquetes produzidos com resíduos de bambu (*Bambusa vulgaris* Schard) produzidos em diferentes temperaturas (25°C – temperatura ambiente, 120°C e 130°C) com avaliação por meio de ensaios físicos, químicos e energéticos. Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira, pressão de 150 Bar, por 5 minutos de compactação, com o material mantido ao teor de umidade de 8%. Avaliou-se a expansão volumétrica, densidade aparente, densidade energética, poder calorífico superior, bem como foram construídas as curvas TG/DTG dos briquetes dos diferentes ensaios e, também, a análise química imediata dos materiais. Utilizamos o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas) e 10 repetições por tratamento. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e assimetria de curtose. Em seguida, realizou a análise de variância (ANOVA) e, os valores, quando significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$) tiveram médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Os resultados mostraram que os briquetes podem ser utilizados para fins energéticos, sendo que os briquetes que apresentaram melhores resultado de poder calorífico superior foram os confeccionados a temperatura ambiente (25°C) e os briquetes que apresentaram melhores resultados de densidade energética foram os briquetes confeccionados a 130°C.

Palavras-chave: Biomassa, Curvas TG/TGA, Densidade energética.

Abstract: This study aimed to characterize the briquettes produced with bamboo residues (*Bambusa vulgaris* Schard) produced at different temperatures (25°C - ambient temperature, 120°C and 130°C) and evaluate the briquettes, through physical, chemical and energy assays. The briquettes were produced in a briquetter, pressure 150 bar, for 5 minutes of compaction, with the material while maintaining the moisture content of 8%. We evaluated the volumetric expansion, density, energy density, superior calorific power and the TG/DTG curves were constructed of briquettes of different tests, and also the chemical analysis of materials. We used a completely randomized design with three treatments (temperatures) and 10 replicates per treatment. The data were submitted to normality test of Shapiro-Wilk and kurtosis asymmetry. Then we perform the analysis of variance (ANOVA), and the values, when significant by F test ($p \leq 0.05$), had averages compared by Tukey test, at 95% probability. The results showed that the briquettes can be used for energy purposes, and that the briquettes showed the best result of the superior calorific power were made at ambient temperature (25°C) and the briquettes showed that best results energy density of the briquettes were made at 130°C.

Keywords: Biomass, TG/DTG Curves, Energy density.



1. Introdução

O reaproveitamento de resíduos, que antes não possuíam destino, é um fator que vem sendo estudado nos dias atuais. A biomassa vegetal tem sido estudada como forma alternativa de energia, complementando a questão de reutilização dos resíduos, com o uso de uma energia renovável, tanto ecologicamente quanto financeiramente compensadora. Quirino (1991) destaca que a briquetagem se mostra eficiente em relação a concentração de energia contida na biomassa. Ao considerar a densidade a granel e o poder calorífico, um m³ de briquetes contém cinco vezes mais energia que um m³ de resíduos.

Uma grande quantidade de resíduos são gerados durante a produção e utilização dessa biomassa e, na maioria das vezes, estes resíduos são depositados no ambiente, que ocasionam uma série de impactos ambientais, com perda de energia e matéria-prima (PAULA et al., 2011).

De acordo com Schutz et al. (2010), o aproveitamento dos resíduos é uma das formas de minimizar o desperdício e a pressão sobre o ambiente. Desta forma, se destaca a briquetagem, definido como o processo que utiliza resíduos lignocelulósicos (serragem, maravalha, casca de arroz, palha de milho, sabugo de milho, bagaço de cana-de-açúcar, casca de coco, forragem, casca de café, entre outros) que, depois de compactados, possibilita seu aproveitamento como matéria-prima na substituição da lenha por um produto com características, como poder calorífico e densidade energética, equivalentes.

Calegari (2007), afirma que o bambu vem se apresentando como um excelente material para substituir a madeira. Os estudos e o interesse nesta cultura têm crescido em escala mundial, provavelmente, por ser um recurso perene, renovável, de rápido crescimento, grande produtividade por área, baixo custo de produção e com uma grande diversidade na sua utilização, o bambu também é considerado um excelente sequestrador de carbono. Segundo Wiecheteck (2007) a compactação dos resíduos na briquetagem torna possível a diminuição do consumo de energia para combustão, pois trata-se de pequeno volume, alta densidade e elevado poder calorífico, além de fácil transporte, embalagem e armazenamento. Além do poder calorífico, a densidade energética que, segundo Barros (2012), expressa a quantidade de energia por unidade de volume, é um fator que pode ser utilizado para realizar a comparação da eficiência energética dos briquetes. Já é comprovado (LIPPEL, 2014) que o poder calorífico de uma tonelada de briquetes é maior que o de outras fontes, como a lenha, por exemplo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos briquetes produzidos com resíduos de bambu, sob diferentes temperaturas, através de ensaios químicos, físicos e energéticos.

2. Material e métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia da Madeira, na Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias (UAECIA) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRN, localizada na Escola Agrícola de Jundiá (EAJ), em Macaíba-RN. Os resíduos de *Bambusa vulgaris* Schard foram coletados na Fábrica de espetos “*Dona Maria*” Ltda, situada em Nazaré da Mata, estado de Pernambuco.

Os briquetes foram confeccionados no molde de uma briquetadeira hidráulica, com matriz de dimensões 35x 45 x 280 mm (comprimento x largura x altura), força máxima do cilindro compactador de 10 toneladas e controle de temperatura até 300°C. Foram



confeccionados 30 briquetes, ao utilizar, em média, 30g de resíduo de Bambu, com controle inicial do teor de umidade a 8%, sob diferentes temperaturas (25°C – temperatura ambiente, 120°C e 130°C) e 5 minutos de compactação com pressão de 150 Bar (153 Kgf.cm⁻²). Os 30 briquetes foram divididos em três tratamentos (25°C - temperatura ambiente, 120°C e 130°C) com 10 tratamentos repetições cada. Durante a confecção dos briquetes a temperatura ambiente (25°C) o controle de temperatura da briquetadeira foi desativado, para que os briquetes fossem compactados utilizando apenas a pressão. Os briquetes foram armazenados em sala climatizada (20 ± 3 °C; 60 ± 5 % de umidade relativa), e após o período de trinta dias, foi verificada a expansão volumétrica e umidade de equilíbrio dos briquetes, conforme procedimento de Ohana (2012).

O poder calorífico superior (Kcal.kg⁻¹) dos resíduos foi determinado em bomba calorimétrica com base na Norma brasileira 8633 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984), e densidade energética (Gcal.m⁻³) de acordo com Protásio et al. (2011). A densidade a granel (kg.m⁻³) dos resíduos foi determinada com base na norma NBR 6922 (ABNT, 1986) e a densidade aparente (g.cm⁻³), de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003). O comportamento térmico dos resíduos foi definido a partir da análise termogravimétrica, as curvas de TG/DTG foram analisadas em uma termo-balança modelo TG 209 F3 *Tarsus*, com temperatura inicial de 50°C em atmosférica dinâmica de N₂, com razão de aquecimento (10°C.min⁻¹), e temperatura máxima de 500°C.

Os testes de resistência à compressão longitudinal diametral (Kgf.cm⁻²) foram realizados em máquina universal de ensaios, com a capacidade de 30tf, com carregamento até sua ruptura e velocidade de 3 mm.sec⁻¹, com célula de carga de 10t, ao utilizar recomendações Copant (1972). Os briquetes passaram pelo teste de Tamboramento, para verificação da friabilidade (NBR 7402, ABNT, 1982) e (OLIVEIRA et al., 1982). Em seguida classificados em peneiras de (25 mm; 15 mm; 5 mm e 1,5 mm). Foi realizada a análise química imediata dos briquetes, de acordo com a NBR 8112 (ABNT, 1986).

Utilizamos o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (temperaturas) e 10 repetições por tratamento. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e assimetria de curtose. Em seguida, realizou a análise de variância (ANOVA) e, os valores, quando significativos pelo teste F (p ≤ 0,05) tiveram médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade. Os dados foram analisados com auxílio do software BioEstat^R versão 5.3.

3. Resultados e discussão

A Tabela 1 exhibe os dados do teor de umidade, densidade energética, densidade aparente e poder calorífico superior dos briquetes dos diferentes tratamentos.

Tabela 1. Caracterização física dos briquetes de diferentes temperaturas

Tratamentos	Umidade (%)	Exp. Volum. (%)	D. Energética (MJ.m ⁻³)	D. Aparente (g.cm ⁻³)	PCS (Kcal.kg ⁻¹)
Temperatura Ambiente (25°C)	7.34 a	29,70 a	6.41 a	1.35 a	4.76 a
120°	6.68 a	1,74 b	8.74 b	1.87 b	4.68 a
130°	7.49 a	1,24 c	8.89 b	1.99 c	4.46 a

Em que: Umidade= Teor de umidade em (%); Exp. Volum.= Expansão volumétrica (%); D.Energética= Densidade energética (MJ.m⁻³); D. Aparente= Densidade aparente (g.cm⁻³) e PCS = Poder calorífico superior (Kcal.kg⁻¹). Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.



Os dados de umidade final dos briquetes não diferiram estatisticamente, a umidade ficou entre 6 e 8%, sendo fundamental que a umidade esteja nestes valores, para permitir uma redução dos custos com transporte. Os dados da expansão volumétrica mostraram uma diferença estatística entre as temperaturas, principalmente entre os briquetes confeccionados em temperatura ambiente (25°C) e os produzidos nas condições de 120 e 130°C, mostrando a influência da temperatura na aglomeração e fixação dos materiais no briquete, fator importante que se deve ao fato da transformação do material lignocelulósico, através da degradação da lignina, que passa a agir como um “adesivo”, permitindo maior aglutinação por parte dos resíduos, conseqüentemente, levando a um maior controle de expansão do material.

Os resultados de densidade energética obtidos neste trabalho foram maiores que os obtidos por Barros (2012), ao utilizar cascas de maracujá, de coco, de laranja, mandioca e sabugo de milho para a produção de briquetes e utilizando metodologia semelhante a este trabalho para determinar a densidade energética dos briquetes. As médias dos resultados obtidos por Barros (2012), em seu trabalho, não ultrapassaram a faixa dos 5 MJ.m⁻³, enquanto a média dos resultados obtidos neste trabalho ficou acima dos 6,40 MJ.m⁻³. A densidade aparente é um fator de extrema importância na classificação do material, principalmente se tratando de materiais que são briquetados, facilitando a classificação, seu transporte e utilização, gerando menos gastos.

Na Tabela 1, observa-se que a densidade aparente aumentou em relação ao aumento de temperatura de briquetagem, indicando que há uma provável ligação entre a degradação da lignina e sua ação como aglutinante como fator fundamental para uma maior compactação da biomassa briquetada e, conseqüentemente, uma densidade aparente maior, conforme há uma maior degradação em função da maior temperatura analisada. Os resultados da densidade aparente foram superiores aos resultados obtidos por Paula et al. (2011), quando utilizou resíduos de arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, madeira, milho e soja, os resultados que mais se aproximaram com este trabalho foram as médias de densidade aparente da casca do grão de arroz, que apresentou uma densidade aparente igual a 1,07 g.cm⁻³, os outros resultados obtidos foram inferiores a 1 g.cm⁻³. Apenas os dados do pergaminho do café, da vagem do feijão, da serragem da madeira e da folha do milho, obtidos por Paula et al. (2011), foram superiores a 0,9 g.cm⁻³. Os resultados do poder calorífico superior foram importantes para a classificação dos briquetes, demonstrando, por seu alto valor obtido, que há grande liberação de energia em relação a quantidade de massa, com uma densidade energética também alta, estes fatores atestam que os briquetes podem ser utilizados na siderurgia.

As Figuras 1, 2 e 3 mostram as curvas TG/DTG da análise termogravimétrica dos briquetes confeccionados nas três diferentes temperaturas.

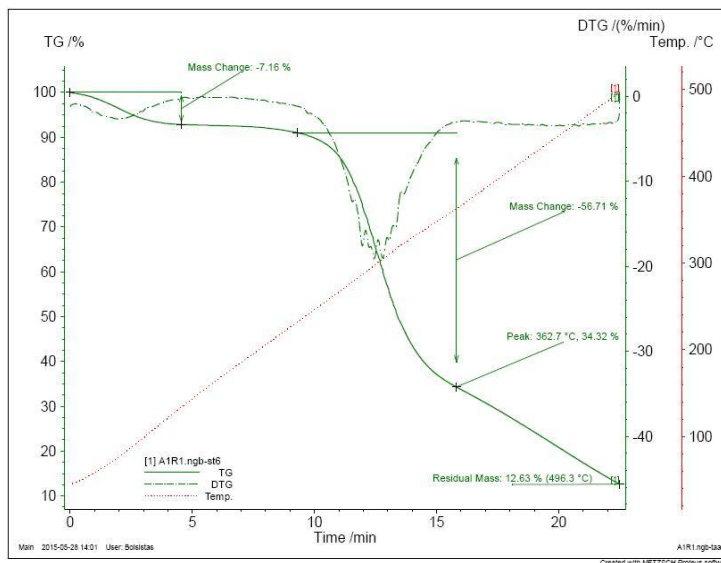


Figura 1- Curva TG/DTG dos briquetes confeccionados a temperatura ambiente

Na Figura 1, das curvas TG/DTG, pode ser observado três faixas de degradação térmica. A primeira faixa apresenta uma perda de massa de 7,16%, que demonstra ser a perda de água do material, a segunda faixa de temperatura apresenta a maior perda, correspondente a 56,71%, mostrando ser a faixa com maior perda, com um pico de perda de massa quando a amostra atingiu 362,7°C, e apresentou uma massa residual média de 12,63% definindo a faixa três como sendo uma perda de massa de 30,66%, demonstrando uma degradação expressiva do material, quando submetido a altas temperaturas.

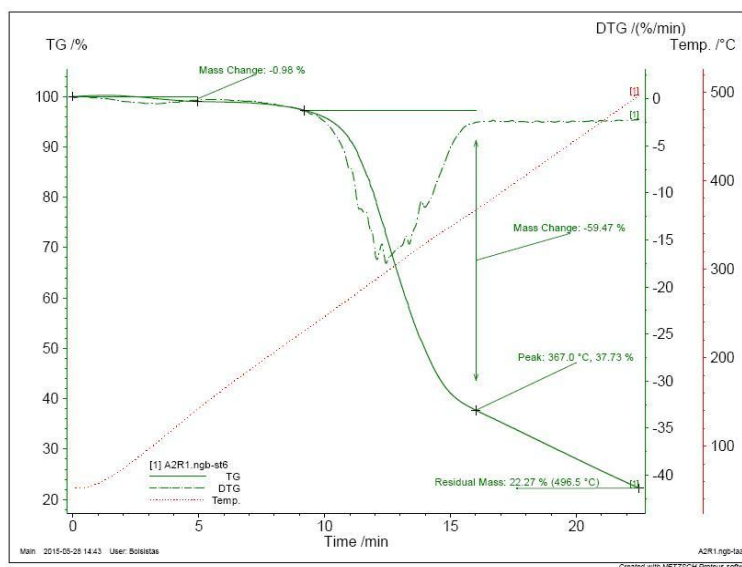


Figura 2- Curva TG/DTG dos briquetes confeccionados a 120°C

Na Figura 2, demonstra-se que as curvas de TG/DTG dos briquetes confeccionados a 120°C corroboram com o padrão das outras amostras, ao apresentar as três principais faixas de temperatura e perda de massa. A primeira faixa de temperatura apresenta uma perda de massa de 0,98%, demonstrando um valor pequeno, porém significativo, de água na amostra. A segunda faixa de temperatura apresenta uma perda de massa de 59,47%, sendo esta a faixa



onde ocorreu maior perda de massa, onde o pico da perda se concentrou em 367°C, na faixa três houve uma perda de massa de 18,26%, e apresentou uma massa residual de 22,27%, superior ao resultado da amostra dos briquetes confeccionados a temperatura ambiente, é provável que a quantidade da massa residual tenha influenciado o valor da massa perdida na terceira faixa de temperatura.

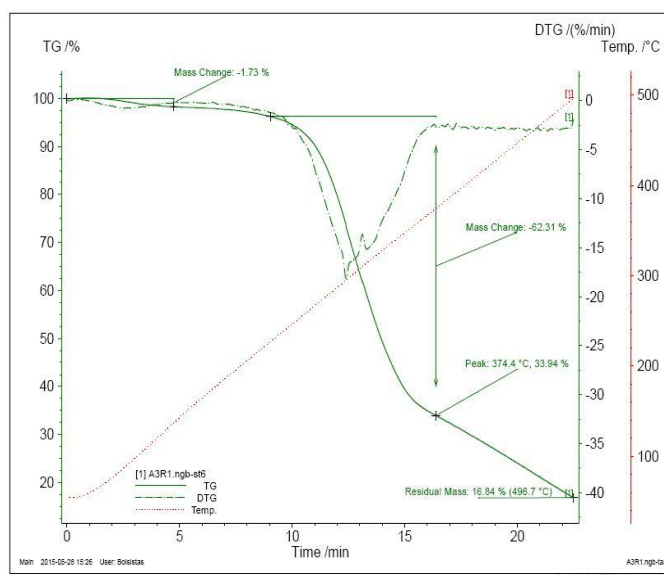


Figura 3- Curva TG/DTG dos briquetes confeccionados a 130°C

A Figura 3 exibe amostras dos briquetes confeccionados a 130°C, os dados mostram que na primeira faixa de temperatura ocorreu uma perda de massa de 1,75%, valor médio entre as duas curvas dos ensaios anteriores. Na segunda faixa de temperatura ocorreu uma perda de massa de 62,31%, apresentando o maior resultado entre as amostras, com um pico de temperatura de 374,4°C, enquanto a terceira faixa de temperatura. A massa residual obtida foi de 16,84%, o valor médio entre as duas outras amostras. Os resultados da termogravimetria das três diferentes temperaturas se assemelham aos resultados obtidos por Martins et al. (2009), quando utilizou fibras de mesocarpo e caroço do açaí para definir o comportamento térmico, apresentando três faixas de perda de massa, com a primeira faixa mantendo a menor perda de massa, a segunda faixa apresentando os maiores resultados com picos em temperaturas próximas aos obtidos neste trabalho, com uma média da massa residual entre 10 e 20%.

Os dados relacionados à análise química imediata são apresentados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2- Resultados da Análise química imediata dos briquetes

Tratamentos	Materiais voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Temp. Ambiente (25°C)	80.18 a	1.65 a	10.83 a
120°	80.90 a	1.74 b	10.68 b
130°	80.47 a	1.84 b	10.20 c

Médias seguidas por uma mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.



Os resultados de materiais voláteis foram superiores, quando comparados aos dados obtidos por Dias Júnior et al. (2014), com a mesma metodologia, utilizando sete diferentes proporções de resíduos de bambu e moinha de carvão, conforme a proporção de resíduo de bambu aumenta, em relação à moinha de carvão, o teor de materiais voláteis se aproxima dos resultados obtidos neste trabalho, logo, os resultados dos briquetes produzidos apenas de resíduo de bambu obtiveram 81% de materiais voláteis, neste trabalho os resultados se mantiveram bem próximos a este resultado. Os resultados do teor de cinzas obtidos neste trabalho foram bem inferiores aos que foram obtidos por Dias Júnior et al. (2014), tanto nos briquetes confeccionados com alta temperatura quanto nos briquetes confeccionados a temperatura ambiente (25°C), assim como os resultados dos materiais voláteis, os resultados se aproximam aos resultados obtidos neste trabalho à medida que a proporção de bambu, em relação à moinha de carvão, cresce. Os dados que mais se aproximam aos resultados obtidos neste trabalho são os obtidos por ele nos briquetes confeccionados somente com resíduo de bambu, que apresentou um teor de cinzas com média de 2,60%. O teor de carbono fixo, se mostraram inferiores, se comparado aos resultados obtidos por Protásio (2012), que produziu briquetes a partir da casca e do pergaminho de café a 120°C e obteve, em média, 27% de carbono fixo. Quando comparados aos resultados obtidos por Dias Júnior et al. (2014), também se mostraram inferiores, sendo o mais próximo aos resultados obtidos aqui os briquetes produzidos apenas com resíduo de bambu, que apresentou um teor de carbono fixo com média igual a 16,40%. A comparação dos resultados mostra um certo padrão em relação aos teores (Materiais voláteis, cinzas e carbono fixo), quando avaliados em relação aos resultados obtidos por Dias Júnior et al. (2014) nos briquetes fabricados somente com resíduos de bambu, ou seja, os resultados se assemelham.

4. Conclusão

Após as análises das matérias, foi observado que os briquetes se apresentam no teor de umidade dentro da faixa ideal de uso. Os briquetes que apresentaram os melhores resultados em relação ao potencial energético foram os briquetes fabricados a temperatura ambiente, quando observado o poder calorífico superior e, a densidade energética, os briquetes que apresentaram os melhores valores foram os briquetes fabricados a 130°C.

Para a análise química imediata, os briquetes que apresentaram os resultados mais satisfatórios foram os briquetes fabricados a temperatura ambiente, que apresentaram o maior percentual de carbono fixo e o menor teor de cinzas.

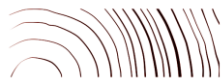
Os briquetes apresentam resultados satisfatórios para o uso energético, com valor de poder calorífico superior elevado.

Referências bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6922: Carvão vegetal: ensaios físicos. Rio de Janeiro. 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7402: Carvão vegetal - Determinação granulométrica. Rio de Janeiro. 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Carvão vegetal: Análise imediata. 1986.



ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: Carvão Vegetal: Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro. 1984.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941: Madeira - Determinação da densidade básica. 2003.

BARROS, L. O. Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas. 2012. 46 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) —Universidade de Brasília, Brasília.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; SCARAVELLI, T. L.; SANTINI, E. J.; STANGERLIN, D. M.; GATTO, A. A.; TREVISAN, R. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambú (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. *Cerne*, Lavras, v.13, n.1, p.57-63, 2007.

COPANT - COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. COPANT 464: Metodo de determinación de la compresión parallel al grano.1972.

DIAS JÚNIOR, A. F. D.; ANDRADE, A. M. de; COSTA JÚNIOR, D. S. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agrofloretais. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 34, n. 79, p. 225-234, jul./set. 2014.

LIPPEL. Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de briquetagem. 2014. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-10-46estudo-de-viabilidade-de-implantacao-de-uma-usina-de-briquetagem.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J. D. C. Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.31, n.4, p.1150-1157, 2009.

OLIVEIRA, J.B.; GOMES, P.A.; ALMEIDA, M.R. Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. Belo Horizonte, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Carvão Vegetal. 1982.

PAULA, R. L. E.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A., E., R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, n.66, p.103 – 112, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; BALIZA, A. E. R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.31, p.273-283, 2011.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n. 11, p. 1252-1258, 2012.

II CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 2015



II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Belo Horizonte - 20 a 22 set 2015



QUIRINO, W. F. - Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão. Piracicaba, janeiro, 1991. 80 páginas (Dissertação de Mestrado apresentada à ESALQ/LISP para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais).

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

WIECHETECK, M. Oportunidades de uso da madeira para fins energéticos. 2007. Disponível em: <<http://www.stcp.com.br/upload/publicacoes/08062011143352.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2015.