



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE SEMENTES AGRÍCOLAS E MADEIRA DE EUCALIPTO

William Wilk¹

Joyce Fernanda Vieira Gondim¹

Thammi Queuri Gomes da Cunha¹

Pedro Augusto Fonseca¹

Rogério Dias Marques¹

Macksuel Fernandes da Silva¹

Ademilson Coneglian²

Carlos Sette Jr¹

¹ Universidade Federal de Goiás

² Universidade Estadual de Goiás

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E QUALIDADE DE BRIQUETES PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS DE SEMENTES AGRÍCOLAS E MADEIRA DE EUCALIPTO

Resumo: O objetivo do trabalho foi caracterizar a biomassa e a qualidade de briquetes produzidos a partir de resíduos de sementes agrícolas e do desdobro da madeira de eucalipto. Foram utilizados resíduos do processo de (i) beneficiamento de sementes agrícolas obtidos da fase de limpeza e que constituem, principalmente, em cascas e (ii) resíduos do desdobro de toras de eucalipto, constituídos de serragem. Os resíduos foram triturados, moídos e preparados três tratamentos: 100% resíduos sementes (T1), 50% resíduos sementes + 50% resíduos eucalipto (T2) e 100% resíduos eucalipto (T3). De cada tratamento foram avaliadas as características da biomassa (teores de carbono fixo, voláteis, cinzas e densidade a granel), para posterior compactação em briquetadeira de laboratório, sendo produzidos dez briquetes por tratamento e determinado a resistência a tração por compressão diametral, durabilidade, expansão volumétrica e densidade aparente. A biomassa de eucalipto e a sua mistura com as sementes agrícolas apresentaram características que indicam a sua utilização para a produção de briquetes, sendo uma forma para viabilizar o aproveitamento dos resíduos gerados nas usinas de beneficiamento de sementes e desdobro da madeira.

Palavras-chaves: Bioenergia, compactação da biomassa, serragem

CHARACTERIZATION OF BIOMASS AND BRIQUETES PRODUCED FROM AGRICULTURAL SEEDS AND EUCALYPTUS WOOD RESIDUES

Abstract: The objective of this study was to characterize the biomass and the quality of briquettes produced from agricultural seed and eucalyptus wood residues. Residues from the process of (i) processing of agricultural seeds obtained from the cleaning phase, mainly consisting of bark and (ii) residues from eucalyptus logs, consisting of sawdust. The residues were ground and prepared three treatments: 100% seed residues (T1), 50% seed residues + 50% eucalyptus residues (T2) and 100% eucalyptus residues (T3). From each treatment, the biomass characteristics (fixed carbon, volatile, ash and bulk density) were evaluated for subsequent compaction in laboratory briquette. Ten briquettes were produced per treatment and the tensile strength by diametrical compression, durability, volumetric expansion and density was determined. The eucalyptus biomass and its mixture with the agricultural seeds presented characteristics that indicate its use for the production of briquettes, being a way to make feasible the use and use of the residues generated in the plants of processing of seeds and the sawmills.

Keywords: Bioenergy, compaction of biomass, sawdust

1. Introdução

A energia obtida através da queima dos combustíveis fósseis, principalmente derivados do petróleo é base fundamental para o desenvolvimento humano. Porém, com novos estudos e a demanda energética mundial crescente, a necessidade por diferentes alternativas energéticas se faz presente no contexto do desenvolvimento sustentável (ANEEL, 2016). Diante deste cenário, o termo “Energia Limpa” está se difundindo e sendo consolidado como substituto total ou parcial às tradicionais fontes de energia, sendo importante que vários países busquem inserir políticas energéticas que exerçam um papel mais rentável, visando a sustentabilidade do sistema energético através da diversificação de sua matriz (COSTA e PRATES, 2005).

Considerada uma das principais fontes alternativas para diversificação da matriz energética, a biomassa contribui para redução do uso de combustíveis fósseis. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), em 2016, o Brasil obteve 8,0% de participação na matriz energética a partir da biomassa, sendo a terceira principal fonte de energia. A biomassa pode ser utilizada nos estados líquido, sólido e gasoso, porém o que

dificulta seu uso são as condições em que a biomassa geralmente é encontrada, com baixa densidade, alta umidade e formas inviáveis para transporte e armazenagem, sendo a sua compactação, através da produção de briquetes e pellets, uma das formas para reduzir os problemas associados ao uso da biomassa in natura (DIAS et al., 2012). Por meio deste processo os resíduos de diversos materiais e subprodutos do beneficiamento na agroindústria, podem ser convertidos em produtos de maior qualidade.

Dentre as inúmeras biomassas geradas nos processos agroindustriais, as gramíneas forrageiras podem ser de grande utilidade uma vez que são encontradas em todas regiões do país: a área de produção de sementes de forrageiras no Brasil está estimada em 140 mil hectares/ano, com uma produtividade de cerca de 20 toneladas de massa seca/ha, com disponibilidade anual média de 2,8 milhões de toneladas de biomassa (DIAS et al., 2012). Com isso, os resíduos gerados a partir desse processo são de grande importância para o setor energético e podem ser utilizados para atender a crescente demanda por energia renovável.

Da mesma forma, a indústria de processamento da madeira brasileira apresenta, em média, aproveitamento baixo, em torno de 40%, sendo o restante caracterizado como resíduos com ou sem aproveitamento (BRAND, 2010). Estima-se que no Brasil a produção de resíduos madeireiros esteja na ordem de 17 milhões de metros cúbicos por ano (FAO, 2015) e a tendência é o acúmulo desses resíduos, que na maioria das vezes é depositado inadequadamente no ambiente, ocasionando impactos ambientais, perda de matéria-prima e energia (PAULA et al., 2014). Com os crescentes aumentos nos custos dos insumos energéticos, as indústrias têm procurado o aproveitamento dos resíduos industriais e florestais como fonte alternativa de energia (CHEN et al., 2009).

Diante deste contexto, o objetivo do trabalho foi caracterizar a biomassa e a qualidade de briquetes produzidos a partir de resíduos de sementes agrícolas e do desdobro da madeira de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Seleção e preparo das amostras

Foram utilizados resíduos do processo de (i) beneficiamento de sementes de diversas culturas agrícolas obtidos da fase de limpeza e que constituem, principalmente, em cascas e (ii) desdobro de toras de eucalipto, constituídos de serragem, provenientes de uma serraria, ambos localizados na cidade de Goiânia/GO.

Os resíduos de sementes e de madeira de eucalipto foram triturados e moídos em moinho do tipo Willey e preparados três tratamentos: (i) T1 – 100% resíduos de sementes, (ii) T2 – 50% resíduos de sementes + 50% resíduos de eucalipto e (iii) T3 – 100% resíduos eucalipto.

2.2 Avaliação das características da biomassa

Os resíduos da biomassa dos três tratamentos foram submetidos a uma separação mecânica no agitador orbital de peneiras com batidas intermitentes para a seleção da fração retida na peneira número 24 internacionais, com malha de 60 mesh. Os procedimentos para a avaliação das características da biomassa dos tratamentos foram realizados em triplicata e obtida a média aritmética (ARRANZ et al., 2015). A análise imediata baseia-se na norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), tendo sido determinados os teores de cinza, materiais voláteis e carbono fixo.

Para a determinação de teor de voláteis os resíduos moídos foram secos em estufa a 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), sendo adicionada em um cadinho de porcelana com tampa e posicionada na porta do forno tipo Mufla previamente aquecida a 900°C ($\pm 10^\circ\text{C}$), permanecendo nessa posição durante 3 minutos. Em seguida, o cadinho foi colocado na Mufla durante 7 minutos com a porta fechada. Depois do aquecimento o cadinho foi esfriando em dissecador com sílica gel, até massa constante.

O teor de material volátil foi determinado pela equação 1.

$$MV = \frac{M_1 - M_2}{M} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

MV = teor de material volátil (%)

M_1 = massa inicial do cadinho mais a amostra (g)

M_2 = massa final do cadinho mais a amostra (g)

M = massa da amostra seca (g)

Para a determinação de teor de cinzas a amostra moída foi adicionada em um cadinho de porcelana, previamente seco, e levado a Mufla 600°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) por um período de 6 horas. Após a queima, o cadinho foi esfriado em dissecador com sílica gel, até massa constante.

O teor de cinzas foi calculado com base na massa seca do resíduo, de acordo com a equação 2.

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

CZ = teor de cinza (%)

m_0 = massa do cadinho (g)

m_1 = massa do cadinho mais o resíduo após combustão (g)

m = massa da amostra seca a 0% de umidade (g)

O teor de carbono fixo foi calculado subtraindo-se de 100% a soma dos teores de materiais voláteis e de cinzas conforme a equação 3.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (3)$$

Em que:

CF = teor de carbono fixo (%)

CZ = teor de cinzas (%)

MV = teor de voláteis (%)

A densidade à granel foi determinada de acordo com a metodologia estabelecida na norma NBR 6922 (ABNT, 1981): relação da massa do material analisado e o volume conhecido de um recipiente

2.3 Produção dos briquetes

A compactação da biomassa dos tratamentos (T1, T2 e T3) foi realizada em briquetadeira de laboratório com temperatura de 120°C ($\pm 5^\circ\text{C}$), pressão de 140 kgf.cm⁻², tempo de compactação de 5 minutos e resfriamento de 15 minutos com ventilação forçada. A temperatura utilizada teve como objetivo a plastificação da lignina uma vez que conforme recomendado por Chen et al. (2009), o aumento da temperatura faz com que a lignina se torne plástica e atue como ligante natural das partículas durante a compactação e a pressão exercida está dentro da faixa utilizada por diversos trabalhos (PAULA et al., 2011; PROTÁSSIO et al., 2011; QUIRINO et al., 2012).

As condições de briquetagem foram definidas experimentalmente a partir de testes preliminares de tempo de prensagem e de resfriamento, sendo escolhidos aqueles em que os briquetes apresentaram as melhores formações, conforme proposto por Vilas Boas (2011).

Para cada briquete utilizou-se 40 gramas de biomassa moída, obtendo-se ao final um briquete de aproximadamente 4 centímetros de comprimento e 3 centímetros de diâmetro, tendo sido produzidos 10 briquetes por tratamento, totalizando 30 briquetes.

2.4 Propriedades físico-mecânicas dos briquetes

A densidade aparente de cada briquete foi obtida através equação 4.

$$Dap = \frac{Mi}{V} \quad (4)$$

Em que:

Dap = densidade aparente (g.cm^3)

Mi = massa (g)

V = volume (cm^3)

A expansão volumétrica dos briquetes foi calculada pela mensuração da altura e do diâmetro dos briquetes e posterior cálculo do volume em dois momentos diferentes: (i) imediatamente após a briquetagem e (ii) 72 horas após a briquetagem – intervalo de tempo necessário para a estabilização dimensional dos briquetes. Os briquetes foram inseridos em sacos plásticos e vedados, a fim de evitar a influência de umidade externa.

A durabilidade dos briquetes foi determinada por perda de massa das amostras, conforme descrito por Toscano et al. (2013) e utilizando-se a equação 5. Os briquetes foram pesados para a obtenção da massa inicial e levados a uma peneira vibratória, permanecendo por 10 minutos, a 80 rotações por minutos. Após este procedimento, os briquetes foram novamente pesados e obtida a massa final.

$$Dur = 100 - \frac{Mid - Mif}{mid} \times 100\% \quad (5)$$

Em que:

Dur = durabilidade do briquete (%)

M_{id} = massa inicial (g)

M_{if} = massa final (g)

A resistência a tração por compressão diametral dos briquetes, previamente acondicionados em sala de climatização para atingir o teor de umidade de 12%, foi obtida empregando-se uma máquina universal de ensaios EMIC - DL30000, com célula de carga de 100kN, a uma velocidade constante de 3 mm.min^{-1} (PROTÁSSIO et al., 2011; QUIRINO et al., 2012; SOUZA, 2014), onde uma carga em sentido transversal é aplicada sobre as amostras. O ensaio foi realizado a partir de uma adaptação da norma ABNT 7222 (1994) para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa.

2.5 Análise estatística dos dados

Na análise estatística dos resultados foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, sendo aferidos os “outliers” e heterogeneidade da variância. Para os resultados aplicou-se a análise de variância (ANOVA), verificando o efeito dos tratamentos, e o teste de Tukey, ajustado a 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características da biomassa

Os resultados da densidade a granel e química imediata da biomassa são apresentados na Tabela 1, para os três tratamentos.

Tabela 1. Química imediata e densidade a granel por tratamento.

Tratamentos	Carbono fixo (%)	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas (%)	Densidade a granel ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
T1	18,1 a (0,1)	77,2 a (0,1)	4,7 a (0,5)	0,30 a (0,05)
T2	15,6 b (0,4)	83,9 b (0,3)	0,5 b (0,2)	0,24 b (0,06)
T3	16,4 b (0,8)	83,2 b (0,5)	0,2 b (0,2)	0,23 b (0,08)

Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.

Os teores médios de carbono dos tratamentos apresentam uma variação de 15,6 a 18,1%. Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, proporcionando mais tempo de permanência nos aparelhos de queima quando comparado a materiais com menor teor de carbono fixo OLIVEIRA et al. (2010).

Os teores médios de materiais voláteis foram de 77,2% para T1, 83,9% para T2 e 83,2% para T3. O Tratamento com a mistura das biomassas obteve maior porcentagem em relação aos demais, estatisticamente em relação ao T1. O teor de materiais voláteis está relacionado à queima no processo da carbonização, sendo esta mais rápida quanto maior o teor de voláteis. Segundo Obernberger e Thek (2004), a quantidade de matérias voláteis influencia fortemente na combustão e o comportamento da decomposição térmica de combustíveis sólidos.

O teor de cinza, que representa o material que não foi queimado, foi estatisticamente superior no tratamento T1 – resíduo de sementes – 4,7% se comparado aos outros dois tratamentos (T2 - 0,5 e T3 - 0,2%). Os elevados teores de cinzas do Tratamento 100% sementes estão relacionadas a origem do material, uma vez que pelo processo existente na indústria o grau de impurezas é bastante elevado, pois juntamente com a palhada - material com alto teor mineral (sílica), existem impurezas (areia, silte e argila), o que representa uma desvantagem para esta biomassa em relação as outras, dos demais tratamentos, diminuindo a qualidade do material combustível.

Maiores teores de cinzas não são interessantes do ponto de vista energético, uma vez que contribuem para a redução do poder calorífico superior, pois não participam do processo de combustão. Além disso, Vamvuka et al. (2014) afirmam que esses elementos podem formar nas superfícies de troca térmica dos geradores de vapor severas deposições gerando escórias que podem levar ao mau funcionamento e reduzir a eficiência da transferência de calor. As deposições podem também, à longo prazo, em função da sua abrasividade, causar corrosão nos elementos metálicos dos queimadores (Carneiro et al., 2013; Liu et al., 2014).

Nos tratamentos avaliados, a densidade a granel variou entre 0,23 a 0,30 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Pincelli (2011) avaliando a densidade a granel de resíduos da colheita florestal e de indústrias madeireiras, encontraram para cavacos de eucalipto valores variando de 0,19 a 0,26 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Resíduos lignocelulósicos com maior densidade a granel são desejáveis, pois fatores como os custos com o transporte e a densidade energética são essenciais na viabilidade econômica das energias renováveis. A baixa densidade a granel inviabiliza o transporte a maiores distâncias por ocupar grandes volumes, além do baixo conteúdo energético contido por unidade volumétrica, características presentes na maioria das biomassas de origem vegetal (Nhuchhen et al., 2014).

3.2 Características dos briquetes

Os resultados médios das características energéticas e físico-mecânicas dos briquetes em função dos tratamentos são apresentados na Tabela 2. A densidade aparente dos briquetes sofreu influência dos tratamentos, com valores médios de 1,15 a 1,24 g.cm⁻³, sendo menor estatisticamente nos briquetes produzidos com a serragem de eucalipto (T3) e estão de acordo com a faixa de densidade para briquetes de eucalipto observado por diversos autores como Quirino e Brito (1991), Protásio et al. (2011). Brand et al. (2005).

Tabela 2. Características dos briquetes por tratamento.

Tratamento	DAP (g.cm ⁻³)	Dur(%)	Exp (%)	RTCD (MPa)
T1	1,23 a (0,02)	99,24 a (0,31)	1,57 a (0,79)	4,34 a (0,35)
T2	1,24 a (0,01)	99,65 a (0,29)	1,08 a (0,27)	4,48 a (0,24)
T3	1,15 b (0,16)	98,62 b (0,16)	0,16 b (0,23)	3,63 b (0,20)

DAP=Densidade aparente; Dur=Durabilidade; Exp= Expansão volumétrica; RTCD= Resistência a tração por compressão diametral. Médias seguidas de desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de significância pelo Teste de Tukey

A densificação da biomassa através da produção dos briquetes, promove um aumento da densidade da biomassa in natura. Este incremento em % de densidade após a densificação, evidencia a importância dos processos de compactação da biomassa para o melhor aproveitamento de materiais lignocelulósicos para a produção de bioenergia, pois o aumento na densidade dos briquetes representa uma diminuição do volume das biomassas, proporcionando uma maior concentração de massa em um mesmo espaço (SILVA et al., 2015).

A durabilidade dos briquetes foi maior no T2 (99,65%) e T1 (99,24%) em relação ao T3 (98,62%), estatisticamente diferentes. Oliveira et al. (1992) propõe que os resultados da durabilidade dos briquetes podem fornecer resultados qualitativos do produto. Assim, em todos os tratamentos os briquetes foram classificados como pouco friáveis e boa qualidade.

A expansão do briquete apresentou diferença significativa para o T3, com valores menores e na ordem de 0,16% em relação aos demais tratamentos. Apesar das diferenças significativas apontadas entre os tratamentos, os resultados de expansão longitudinal podem ser considerados baixos, indicando uma boa estabilidade dimensional dos briquetes (Silva et al., 2015).

Os briquetes tendem a ter uma expansão longitudinal após o processo de briquetagem; essa expansão é influenciada pelas condições de armazenamento (Silva et al., 2015), pelas características do processo de briquetagem, como a temperatura e pressão aplicadas e pelas características da biomassa, como o tamanho das partículas, dimensões das fibras e constituição química (Fernandez et al., 2017).

Desta forma, para explicar melhor o comportamento dos briquetes produzidos neste estudo com as diferentes biomassas e tratamentos, recomenda-se a realização de avaliações das características das fibras e determinação dos teores de lignina e holocelulose, uma vez que o tamanho das partículas, teor de umidade e as condições de briquetagem foram as mesmas para os três tratamentos.

A resistência mecânica do briquete apresentou diferença significativa no Tratamento 3, com menores valores, estando relacionado a menor densidade aparente observada para os briquetes produzidos com o material deste tratamento (100% resíduos de eucalipto), conforme mencionado anteriormente. Essa variável é um indicativo importante referente a durabilidade e aplicabilidade do briquete em sistemas de produção de energia (PROTÁSIO et al., 2011). Esse dado é fundamental na avaliação da qualidade de briquetes pois indica a capacidade de empilhamento, o impacto causado pelo transporte; à abrasão, uma vez que os

briquetes sofrem atritos podendo esfarelar; e à absorção de água, esse fator possui direta relação com o lugar onde é manuseado e estocado (SAMPAIO et al., 2007).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biomassa de eucalipto e a sua mistura com as sementes agrícolas apresentaram características que indicam a sua utilização para a produção de briquetes, sendo uma forma para viabilizar o aproveitamento dos resíduos gerados nas usinas de beneficiamento de sementes e desdobro da madeira.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio a esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- ANEEL. Biomassa. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf. Acesso em: 06 junho 2016.
- ARRANZ, J.I.; MIRANDA, M.T.; MONTERO, I.; SEPÚLVEDA, F.J.; ROJAS, C.V. Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel* n. 142, p. 199–207, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7222. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7222. Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8112. Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14929. Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.
- BERGSTROM, D; ISRAELSON S.; ÖHMAN M.; DAHLQVIST S.; GREFF R.; BOMAN C.; WÄSTERLUND I. Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*, v 89, n. 12, p.1324-1329, 2008.
- CHEN, L. J.; XING, L.; HANA, L. Renewable energy from agro-residues in China: solid biofuel and biomass briquetting technology. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Oxford, U.K., v. 13, n. 9, p. 2689-2695, Dec. 2009.
- COSTA, R. C. & PRATES, C. P. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. *BNDES Setorial*. Rio de Janeiro. Nº 21, p. 5-30, 2005.
- DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, 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 Agroenergia, Brasília, 1. ed., 2012.
- FERNANDEZ, B.O.; GONÇALVES, B.F.; PEREIRA, A.C.C.; HANSTED, A.L.S.; DE PÁDUA, F. A.; DA RÓZ, A.L.; YAMAJI, F.M. Características Mecânicas e Energéticas de Briquetes Produzidos a partir de Diferentes Tipos de Biomassa. *Rev. Virtual Quim.* V. 9, N.1 P. 29-38. 2017
- NHUCHHEN, D. R.; BASU, P.; ACHARYA, B. A. Comprehensive Review on Biomass Torrefaction. *International Journal of Renewable Energy & Biofuels*, v.14, p. 56, 2014.
- OBERNBERGER I, THEK G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass and Bioenergy*; v.27, p.653–669, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. D. Estudos Preliminares de Normalização de Testes de Controle de Qualidade do Carvão Vegetal. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1992.

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

PINCELLI, A.L.P.S.M. Características dos resíduos da colheita de madeira de eucalipto e pinus, submetidos ao Tratamento térmico, com foco na aplicação energética.127p. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP.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, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, Brasília, 1991.

QUIRINO, W.F.; PINHA, I. V. O.; MOREIRA, A. C. O.; SOUZA, F. de; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, dez. 2012.

SAMPAIO, João Alves; COSTA, Lauro Santos Norbert; ANDRADE, Marcelo Corrêa. Ensaios contínuos de briquetagem em bancada piloto. Comunicação Técnica. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 2007.

SAS INSTITUTE. JMP Development Group. JMP Statistics and Graphics Guide, Version 3.1. SAS Institute, Cary, NC. 1997.

SILVA, D.A.; YAMAJI, F.M.; BARRO, J.L; ROZ, A.L.; NAKASHIMA, G.T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 713 - 722, 2015.

SOUZA, F. (2014) Avaliação da qualidade de briquetes produzidos com seis biomassas agroflorestais por métodos não destrutivos. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 142p. 2014.

TOSCANO, G.; RIVA, G.; PEDRETTI, E. F.; CORINALDESI, F.; MENGARELLI, C.; DUCAD. Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. Journal Biomass and Bioenergy, v. 56, p. 317-322, 2013.

VAMVUKA, D.; TRIKOUVERTIS, M.; PENTARI, D.; ALEVIZOS, G. Evaluation of ashes produced from fluidized bed combustion of residues from oranges plantations and processing. Renewable Energy, v. 72, p. 336-343. 2014.

VILAS BOAS, M. A. (2011) Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 65p. 2011.