

USO DO GUAPURUVU (*Schizolobium parahyba*) PARA FINS ENERGÉTICOS

USE OF *Schizolobium parahyba* FOR ENERGY PURPOSES

Diego Kenji Narita¹ Gabriela Tami Nakashima² Alessandra Luzia da Róz³ Ariane Aparecida Felix Pires⁴ Fabio Minoru Yamaji⁵

RESUMO

Uma alternativa como fonte para geração de energia é o uso de biocombustível sólido produzido pelo processo de briquetagem. O briquete é produzido pela compactação de materiais lignocelulósicos, possibilitando que haja maior energia em menor volume. O objetivo desse trabalho foi analisar a briquetagem do *Schizolobium parahyba* (guapuruvu), avaliando-se a estabilidade, densidade, resistência mecânica e friabilidade dos briquetes. Foram testados três granulometrias diferentes: tratamentos T1 (maior que 40 mesh), T2 (entre 40 e 60 mesh) e T3 (menor que 60 mesh), todos briquetados a um teor de umidade de 12%, utilizando-se prensa hidráulica sem o uso de aquecimento nem aglutinante. Os três tratamentos diferiram significativamente entre si quanto à densidade, expansão longitudinal e resistência à tração por compressão diametral. A granulometria mais fina (T3) apresentou os melhores resultados para todos os parâmetros, tendo os maiores valores para a densidade (0,932 g.cm⁻³) e resistência (0,485 MPa) e menor índice de friabilidade (8,35%). Os resultados mostraram que a granulometria interfere nas características do produto final. O estudo mostrou que o guapuruvu pode ser uma alternativa para a produção de biocombustível sólido.

Palavras-chave: biomassa vegetal; bioenergia; granulometria; resíduos.

ABSTRACT

The use of solid biofuel produced by the briquetting process is an alternative source for power generation. The briquette is produced by the compression of lignocellulosic materials, allowing for a higher energy at a lower volume. This work aimed to study the briquetting process of *Schizolobium parahyba* (guapuruvu). It was evaluated the stability, density, mechanical resistance and friability of the briquettes. The treatments were: T1 (above 40 mesh), T2 (between 40 and 60 mesh) and T3 (below 60 mesh). All treatments were adjusted to a moisture content of 12%. The briquettes were produced by hydraulic press without using heat or binder. The three treatments were statistically different from each other in terms of density, height expansion and diametrical compression resistance. The treatment T3 showed the best results for all parameters, with the highest values for density (0.932 g.cm⁻³) and mechanical resistance (0.485 MPa). Also, T3 presented the lowest friability (8.35%). The results showed that the particle size interferes in the final product characteristics. The study showed that guapuruvu could be an alternative for solid biofuel production.

Keywords: vegetal biomass; bioenergy; particle size; residues.

1 Engenheiro Florestal, Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. naritadiego@gmail.com

2 Engenheira Florestal, Mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos, km 110, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. gabrielatn@ufscar.br

3 Química, Dr^a, Técnica em Assuntos Educacionais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Av. João Olímpio de Oliveira, CEP 18202-000, Itapetininga (SP), Brasil. alessandra.roz@gmail.com

4 Química, Mestre em Ciência dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. arianepires9003@hotmail.com

5 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado, Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade, Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Rod. João Leme dos Santos, CEP 18052-780, Sorocaba (SP), Brasil. fmyamaji@ufscar.br

Recebido para publicação em 1/05/2015 e aceito em 24/02/2017

INTRODUÇÃO

No Brasil, há grande potencial para utilização de matrizes energéticas renováveis, como a energia produzida a partir de biomassa. Por ser um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo há alta disponibilidade de matéria-prima, sobretudo a grande quantidade de biomassa residual produzida (COSTA; PRATES, 2005; DIAS et al., 2012).

A biomassa pode ser convertida em combustíveis sólidos, líquidos e gasosos e pode ser obtida a partir de plantios energéticos, florestas nativas, resíduos agrícolas, florestais e industriais (MÜLLER, 2005). Os combustíveis sólidos são a lenha, os resíduos florestais ou agrícolas, a hulha, entre outros. Para melhor aproveitamento, estas biomassas podem participar de um processo de compactação, que consiste na aplicação de pressão sobre as partículas tornando-as um sólido compacto e de maior densidade (CHRISOSTOMO, 2011). Para Yamaji et al. (2013), esse processo torna-se vantajoso, pois permite o transporte de um mesmo volume com maior quantidade de biomassa, além de facilitar o processo de estocagem e manuseio devido ao formato homogêneo dos briquetes.

Na produção dos briquetes, devem-se selecionar matérias-primas cujas características sejam adequadas para se obter um produto final de qualidade, uma vez que a matéria-prima possui maior influência sobre a qualidade do briquete que as variáveis do processo (FURTADO et al., 2010; TAVARES; SANTOS, 2013).

O estudo com espécies nativas como fonte de energia a partir da conversão de resíduos em briquetes ainda é incipiente. Acrescido a este fato, o gênero *Schizolobium* desperta interesse devido ao seu potencial de crescimento, com as variedades *Schizolobium parahyba* (guapuruvu) e *Schizolobium amazonicum* (paricá). Carvalho (2005) afirma que o guapuruvu é uma das espécies de mais rápido crescimento nas regiões Sul e Sudeste do Brasil em condições adequadas, podendo atingir uma produção volumétrica de 45 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, aos 10 anos. Entretanto, ainda não existem plantios comerciais de guapuruvu voltados para a produção de briquetes. De acordo com Bortoletto e Belini (2003), a madeira de guapuruvu é utilizada na produção de brinquedos, palitos, caixotes e compensados.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da potencialidade da utilização do *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, com diferentes granulometrias, para a produção de biocombustível sólido.

MATERIAL E MÉTODO

Para a produção dos briquetes, foi utilizada serragem de *Schizolobium parahyba* proveniente de um plantio de 12 meses de idade de um projeto de restauração florestal com diversas espécies nativas da área. Localizada na fábrica da Toyota na Zona Norte de Sorocaba (coordenadas 23°22'35"S e 47°28'03"W), cujo clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo "Cfa" (subtropical quente).

O preparo do material foi realizado em três etapas: i) plaina desengrossadeira Maksiwa modelo PD.400/3, ii) desempenadeira Baldan modelo DPC-3 e iii) moinho de facas tipo willey. Separaram-se aproximadamente 50 g de serragem (60 mesh) para a determinação do teor de umidade, análise imediata e PCS.

A densidade básica da madeira foi obtida usando-se discos inteiros retirados do DAP (diâmetro a altura do peito). Foi utilizado o método hidrostático, seguindo a norma ABNT NBR 11941 (2003). Foram utilizadas uma estufa para secagem Marconi, béquer de 2 L e uma balança analítica modelo BL320H.

A determinação do teor de umidade foi realizada por meio de uma balança determinadora de umidade marca AND, modelo MX-50.

Para a análise imediata, foi determinado o teor de cinzas e voláteis, conforme metodologia utilizada por Nakashima et al. (2017). O teor de carbono fixo foi calculado empregando-se a equação (1):

$$\text{TCF}=100-(\text{TC}+\text{TV}) \quad (1)$$

Em que: TCF = teor de carbono fixo (%); TC = teor de cinzas (%); e TV = teor de voláteis (%).

O poder calorífico superior (PCS) foi obtido no Laboratório de Análises Calorimétricas da UNESP campus Itapeva, baseado na norma ASTM D2015 (1996), utilizando-se uma bomba calorimétrica IKA

modelo C5000 com o método isoperibólico.

O processo de briquetagem foi realizado em uma prensa hidráulica Marcon com capacidade de 12 toneladas e moldes cilíndricos de 3,5 cm de diâmetro e 16 cm de altura, sendo aplicada a pressão de 1247,25 kg.cm⁻² durante 30 segundos, sem adição aglutinante nem aquecimento. A serragem obtida foi separada em três granulometrias diferentes por meio de peneiras – partículas maiores que 40 mesh, entre 40 e 60 mesh e menores que 60 mesh, resultando nos tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente. Cada briquete foi confeccionado utilizando-se 20 g de serragem com teor de umidade de 12%. Foram produzidos 15 briquetes para cada tratamento num total de 45 briquetes.

Após a briquetagem foram medidas as alturas e diâmetros com auxílio de um paquímetro digital com sensibilidade de 0,01 mm. Em seguida, os briquetes foram acondicionados em sacos plásticos e fechados para evitar a absorção de umidade. As mensurações repetiram-se em intervalos determinados de 1, 2, 4, 6, 12, 24, 48 e 72 horas após a confecção, a fim de se acompanhar sua expansão.

Para a densidade dos briquetes, consideraram-se as medidas finais de altura, diâmetro e massa de cada briquete (10 repetições por tratamento).

A resistência mecânica foi analisada pelos ensaios de tração por compressão diametral e friabilidade. O ensaio de tração por compressão diametral, adaptado da norma ABNT NBR 7222 (1994), foi realizado na máquina universal de ensaios EMIC DL30000N com célula de carga de 500 N e a uma velocidade de ensaio de 3 mm.min⁻¹. Foram utilizadas 10 amostras para cada tratamento. O índice de friabilidade foi verificado pelo ensaio de resistência ao impacto e abrasão (tamboramento), seguindo uma adaptação da norma ABNT NBR 8740 (1985), com auxílio de um friabilômetro, cuja rotação foi de 30 rotações por minuto (rpm) durante 10 minutos. Foram utilizadas quatro amostras para cada tratamento. Ao fim do teste, separou-se com uma peneira (abertura de 6,30 mm) a massa da serragem que se despreendeu da amostra, medindo-se a massa retida (BARROS, 2014).

Avaliou-se estatisticamente a expansão longitudinal, densidade relativa aparente e tensão máxima dos briquetes pela análise de variância. Quando houve diferença significativa entre os tratamentos, aplicou-se o teste Tukey a 5% de significância. Todas as análises estatísticas foram feitas pelo *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008; R STUDIO, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras são provenientes de uma restauração florestal, na qual os guapuruvus tinham aproximadamente 7,6 cm de diâmetro a altura do peito e 1,8 m de altura com 12 meses de idade.

A densidade básica obtida dos discos do guapuruvu coletado foi de 0,25 g.cm⁻³. Vidaurre et al. (2004) encontraram o valor de 0,45 g.cm⁻³, enquanto Lorenzi (1992) cita que a densidade média da madeira do *Schizolobium parahyba* é de 0,32 g.cm⁻³. Ambos os valores são superiores aos valores encontrados neste trabalho. Barrichelo e Brito (1979) afirmaram que o guapuruvu apresenta densidade baixa se comparado com outras espécies de folhosas. Os mesmos autores ainda observaram que há um aumento na densidade básica da madeira quanto mais velho for o indivíduo. Logo, o baixo valor encontrado para a densidade, além de ser uma característica da espécie, teve a influência da idade do material amostrado (12 meses).

Os dados obtidos pela análise química imediata e o poder calorífico superior (PCS) são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Análise imediata e poder calorífico superior (PCS) para o *Schizolobium parahyba*.

TABLE 1: Proximate analysis and gross calorific value (PCS) for *Schizolobium parahyba*.

Teor de cinzas (%)	Teor de voláteis (%)	Carbono fixo (%)	PCS (kcal.kg ⁻¹)
0,68	76,25	20,83	4.513

Para a pesquisa desenvolvida sobre o *Schizolobium parahyba*, utilizaram-se dados da literatura de outras espécies folhosas de rápido crescimento como comparativos, devido à escassez de dados sobre a espécie. Segundo Brito e Barrichelo (1977), o teor de cinzas do eucalipto pode variar de 0,30 a 1,00% dependendo da espécie; para Vidaurre (2010), o teor de cinzas do paricá (*Schizolobium amazonicum*) variou entre 0,57 e 0,82%. O valor encontrado para o teor de cinzas do guapuruvu sem a casca foi de 0,68%

e encontra-se similar aos valores obtidos por Vidaurre (2010).

É desejável que o teor de cinzas apresente valores baixos, devido a sua composição ser de materiais inorgânicos, como alumínio, potássio, cálcio, silício, etc. (FURTADO et al., 2012; COSTA et al., 2014). Para Garcia et al. (2014), o alto teor de cinzas pode afetar a qualidade das emissões dos gases, e na escolha do processo de combustão, uma vez que ele diminui o PCS e o rendimento da combustão. De acordo com Trugilho, Lima e Mendes (1996), alguns destes elementos que restam em forma de cinzas podem causar danos para certas finalidades industriais.

Pode-se afirmar que os valores de teor de voláteis e carbono fixo obtidos neste estudo (Tabela 1) apresentam-se similares aos da literatura. Vários autores reportaram valores que variaram entre 80,15 e 85,5% para o teor de voláteis e 14,2 e 19,56% para o carbono fixo do eucalipto (SILVA; BRITO, 1987; RODRIGUES, 2009; SANTOS, 2012; SILVA et al., 2012), enquanto o teor de carbono fixo do paricá encontrado por Vidaurre (2010) foi de 16,80%. Barros (2014) considera que o teor de voláteis não é determinante na característica energética do material, ainda que uma pequena parcela dos gases possua alto poder calorífico. Segundo Garcia et al. (2014), os materiais voláteis influenciam na decomposição térmica. Altos teores de voláteis facilitam a ignição do material mesmo em baixas temperaturas, implicando alta reatividade e enriquecimento do processo de combustão.

O carbono fixo representa a maior fonte de geração de calor no material, sendo um atributo determinante na aplicabilidade do biocombustível sólido.

O poder calorífico superior obtido de $4.513 \text{ kcal.kg}^{-1}$ é semelhante aos valores citados por Quirino et al. (2005) que foi de $4.544 \text{ kcal.kg}^{-1}$ e Vidaurre et al. (2012) que ficou entre 4.454,81 e $4.652,56 \text{ kcal.kg}^{-1}$. Essa propriedade expressa a quantidade de calor despreendido quando há a combustão completa de uma unidade de massa, a qual é muito importante para conhecer a capacidade energética do material (SANTOS et al., 2011).

A expansão dos briquetes foi acompanhada para determinação da estabilidade dimensional. A Figura 1 representa a expansão longitudinal média ao longo das 72 horas.

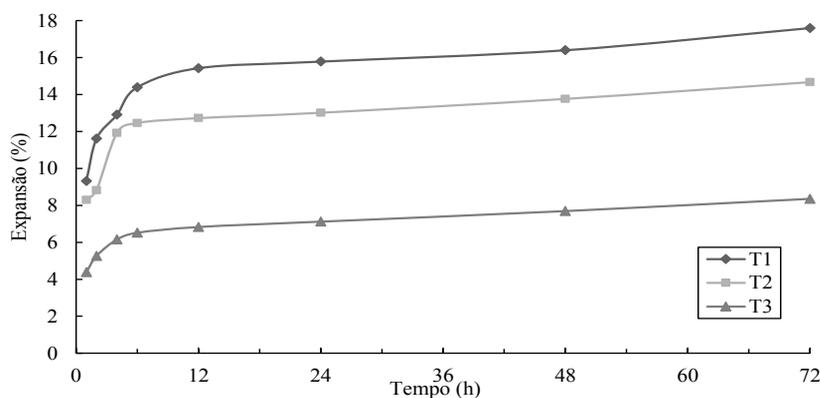


FIGURA 1: Média da expansão da altura dos briquetes para cada tratamento durante as 72 horas iniciais.

FIGURE 1: Average height expansion of briquettes for each treatment during the first 72h.

A Figura 1 mostra o comportamento assintótico das curvas de expansão da altura dos briquetes. Nas primeiras 6 horas pós-briquetagem, ocorre a maior taxa de expansão, resultando na diminuição da densidade. A partir de 12 horas inicia-se uma tendência linear, indicando o início do processo de estabilização. As massas dos briquetes se mantiveram constantes, indicando que não houve absorção de umidade.

Os resultados da expansão longitudinal e respectivas análises estatísticas estão apresentados na Tabela 2.

Na Tabela 2, ainda se encontram os resultados para a friabilidade dos briquetes. Verifica-se que quanto menor a granulometria, menor a friabilidade do briquete, ou seja, maior densidade e maior resistência. Quirino e Brito (1991) encontraram valores entre 3,89 e 56,44% e Gonçalves et al. (2013) entre 8,29 e 32,24% para briquetes de eucalipto. Os tratamentos T2 e T3 apresentam-se dentro dos intervalos reportados, sendo considerados com média friabilidade e pouco friável, respectivamente, de acordo com a classificação sugerida por Oliveira, Gomes e Almeida (1982). O tratamento T1 perdeu 70% de massa, sendo considerado muito friável, o que pode comprometer o transporte e manuseio do produto.

TABELA 2: Médias para a expansão das alturas, densidades dos briquetes e tensão máxima para os três tratamentos, com seus respectivos desvios padrão, e os resultados para a friabilidade.

TABLE 2: Average for height expansion, briquettes densities and maximum tension for each treatment, with their respective standard deviation, and results for friability.

Tratamento	Expansão altura (%)	Densidade do briquete (g.cm ⁻³)	Densidade energética (kcal.cm ³)	Tensão máxima (MPa)	F	Friabilidade (%)
T1	17,60 ± 1,813 c	0,747 ± 0,010 c	3371 c	0,115 ± 0,007 c	*	69,2
T2	14,67 ± 0,188 b	0,813 ± 0,009 b	3669 b	0,247 ± 0,017 b	*	24,6
T3	08,35 ± 0,493 a	0,932 ± 0,009 a	4206 a	0,485 ± 0,037 a	*	10,9

Em que: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05); ** = significativo no teste F (p<0,001).

Os resultados dos ensaios de expansão em altura foram estatisticamente diferentes em todos os tratamentos. O tratamento T1 apresentou a maior expansão média durante o período, indicando que não houve boa adesão entre as partículas. Percebe-se que a expansão é diretamente proporcional à granulometria, ou seja, quanto mais fino o material, melhor será a adesão entre partículas e, por consequência, menor será a expansão para um período de 72 horas. Quirino et al. (2012) também obtiveram resultados com comportamento semelhante, ou seja, a granulometria mais fina resultou em melhor compactação. Para Brasil et al. (2015), o uso de blendas pode ser uma alternativa para minimizar os problemas relacionados à expansão dos briquetes.

A densidade relativa aparente dos briquetes e a análise estatística apresentadas na Tabela 2 mostram que os tratamentos diferiram entre si significativamente. Todos os tratamentos apresentaram densidades dos briquetes superiores à densidade da madeira utilizada. Os briquetes do tratamento T3 resultaram em uma densidade média quase quatro vezes superior à densidade básica da madeira. Isso mostra que os briquetes terão maior densidade energética. Os valores obtidos estão dentro do intervalo indicado por Quirino e Brito (1991), entre 0,69 e 0,99 g.cm⁻³ para briquetes de eucalipto.

Os resultados de tração por compressão diametral também foram estatisticamente diferentes em todos os tratamentos. O tratamento T3 apresentou o valor mais alto (0,485 MPa). Isso mostra que a granulometria mais fina favorece o processo de compactação, resultando em briquetes com maior densidade (0,932 g.cm⁻³) e maior resistência mecânica.

Gonçalves et al. (2013) encontraram valores entre 0,47 e 0,67 MPa de tensão máxima para briquetes de eucalipto. Isso mostra que o guapuruvu, ainda que apresente uma baixa densidade (0,25 g.cm⁻³), pode resultar em briquetes com boas características de resistência mecânica. Os estudos de Nakashima et al. (2014) mostraram que materiais de baixa densidade como o bagaço de cana-de-açúcar, a palha de milho e o capim-elefante mesmo após a compactação não atingiram resistência mecânica satisfatória (valores < 0,25 MPa).

CONCLUSÃO

Foi possível a formação de briquetes de *Schizolobium parahyba* empregando-se a compactação a frio sem presença de agente aglutinante, mostrando que o guapuruvu pode ser uma opção para fins energéticos. A granulometria influenciou na qualidade do produto final. Os briquetes preparados com a granulometria mais fina (menores que 60 mesh) obtiveram maior estabilidade dimensional, resistência mecânica e densidade. Os resultados também indicaram que a baixa densidade da madeira utilizada (0,25 g.cm⁻³) não foi um fator determinante na formação dos briquetes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomento: CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Biomassa e Bioenergia/UFSCar pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8740**. Carvão Vegetal – Determinação do Índice de Quebra e Abrasão. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**. Concreto e argamassa - determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**. Madeira – Determinação de densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D2015**: standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter. Pennsylvania, 1996. 9 p.
- BARROS, J. L. **Caracterização de blendas e briquetes de carvões vegetal e mineral**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2014.
- BARRICHELO, L. E. G.; BRITO, J. O. **A utilização da madeira na produção de celulose**. Piracicaba: IPEF, 1979. 12 p. (Circular Técnica, n. 68).
- BORTOLETTO, G.; BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 16-28, 2003.
- BRASIL, D. S. et al. Use of sugar cane bagasse and candeia waste for solid biofuel production. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 185-92, 2015.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.
- CARVALHO, P. E. R. **Guapuruvu**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. (Circular Técnica, 104).
- CHRISOSTOMO, W. **Estudo da compactação de resíduos lignocelulósicos para utilização como combustível sólido**. 2011. Tese (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.
- COSTA, R. C.; PRATES, C. P. T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento do setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 21, p. 5-30, 2005.
- COSTA, T. G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no Cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, jan./mar. 2014.
- DIAS, J. M. C. S. et al. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. 1. ed. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2012.
- FURTADO, T. S. et al. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.
- FURTADO, T. S. et al. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus taeda* em diferentes idades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 577-582, 2012.
- GARCIA, R. et al. Spanish biofuels heating value estimation. Part II: Proximate analysis data. **Fuel**, v. 117, p. 1139-1147, 2014.
- GONÇALVES, B. F. et al. Caracterização e comparação entre diferentes granulometrias de serragem de *Eucalyptus grandis* para confecção de briquetes. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 205-213, 2013.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras. Manual de Identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

- NAKASHIMA, G. T. et al. Aproveitamento de resíduos vegetais para a produção de briquetes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 34, dez. 2014.
- NAKASHIMA, G. T. et al. Materiais lignocelulósicos: caracterização e produção de briquetes. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 9, n. 1, p. 159-162, 2017.
- OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. D. **Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal**. Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1982.
- QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, 1991.
- QUIRINO, W. F. et al. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.
- QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 89, p.100-106, 2005.
- RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- R STUDIO. **R Studio: integrated development environment for R (Version 0.96.122)** [Computer software] . Boston: [s. n.]: 2012.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008.
- SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- SANTOS, R. C. et al. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.
- SILVA, D. A.; BRITO, J. O. Estudo comparativo da carbonização de três origens de turfas em relação à madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 21-26, 1987.
- SILVA, D. A. et al. Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** [s. l.: s. n.], 2012.
- TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, Natal, v. 29, n. 5, p. 19-27, 2013.
- TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, 1996.
- VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- VIDAURRE, G. B. et al. Produção de chapas de partículas de madeiras de duas espécies nativas da Mata Atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 235-242, 2004.
- VIDAURRE, G. B. et al. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012.
- YAMAJI, F. M. et al. Análise do comportamento higroscópico de briquetes. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 11-15, 2013.