

Bioenergia com resíduos do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Bioenergy with wood residues from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Mariana Dianese Alves de Moraes¹, Jean Henrique dos Santos¹, Pedro Augusto Fonseca e Lima¹, Ademilson Coneglian², Aécio Dantas de Sousa Júnior³, Juliana Lorenzi do Canto³ e Carlos Roberto Sette Junior^{1,*}

¹UFG – Universidade Federal de Goiás. Rodovia Goiânia – Nova Veneza, km 0 – Campus Samambaia – Caixa Postal 131 – 74690-900 – Goiânia, GO, Brasil

²UEG – Universidade Estadual de Goiás – Campus Ipameri. Rodovia GO 330, km 241 – Anel Viário – 75780-000 – Ipameri, GO, Brasil

³UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. RN 160 – Km 03 – Distrito de Jundiá – caixa Postal 07 – 59280-000 – Macaíba, RN, Brasil

(*E-mail: crsettejr@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.17170>

Recebido/received: 2018.07.17

Aceite/accepted: 2018.11.20

RESUMO

As espécies florestais do gênero *Pinus* são as mais utilizadas nas indústrias de processamento da madeira no Brasil, com a geração significativa de resíduos durante a conversão de toras em madeira serrada (desdobro). O trabalho teve como objetivo avaliar as características energéticas do resíduo do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 40 anos de idade e a sua aplicação na forma de briquete. Foram determinadas a análise imediata, o poder calorífico, a densidade a granel e energética do resíduo madeireiro para posterior produção de briquetes e avaliação das suas características energéticas e físico-mecânicas. Os briquetes de resíduo madeireiro de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentam características físico-mecânicas e energéticas que demonstram a sua viabilidade como fonte energética, com densidade energética de 19072,0 MJ.m⁻³.

Palavras-chave: biomassa, energia renovável, briquetes.

ABSTRACT

Forest species of the genus *Pinus* are the most used in the wood processing industries in Brazil, with the significant generation of residues during the process of wood. The objective of this study was to evaluate the energetic characteristics of the residue of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* at forty-year-old and its application in the form of briquette. The proximate analyses, heating value, bulk and energetic density of the wood residue was carried out to subsequent production of briquettes and evaluation of its energetic and physico-mechanical characteristics. The briquettes of *P. caribaea* var. *hondurensis* wood residues exhibit characteristics that prove to be a viable source for energetic use, with energy density of 19,072 MJ.m⁻³.

Keywords: biomass, renewable energy, briquette.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil apresentou um avanço na utilização de energias renováveis como a biomassa vegetal para geração de energia (Ministério de Minas e Energia, 2016). Tendo em vista o equilíbrio ambiental e econômico, a busca por

novas fontes renováveis de energia se torna cada vez maior e mais importante (Eloy *et al.*, 2015).

A biomassa florestal é uma fonte energética promissora para o Brasil devido à grande quantidade de plantios florestais. As principais espécies madeireiras utilizadas nas indústrias florestais

brasileiras são *Pinus* e *Eucalipto*. No ano de 2016, a área total de florestas plantadas alcançou 7,84 milhões de hectares no Brasil, apresentando um crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015 (Indústria Brasileira de Árvores, 2017). A madeira das espécies florestais plantadas é usada como matéria-prima para a produção de diversos produtos como madeira serrada, painéis reconstituídos e compensados, carvão vegetal, papel e celulose etc. (Fernandez *et al.*, 2016).

Durante o desdobro da madeira nas serrarias, o rendimento varia de 30 a 45% e em processos modernos e otimizados pode atingir 60%; em ambos os casos, a produção de resíduos é significativa (Murara Jr. *et al.*, 2013).

Esses resíduos são gerados em todos os processos de industrialização da madeira e possuem baixo potencial de uso energético, principalmente pela baixa densidade energética (Phanphanic e Mani, 2011). A produção de briquetes a partir dos resíduos gerados do desdobro da madeira é uma das alternativas para o seu melhor aproveitamento energético, pois apresentam melhores características em comparação a outros produtos de biomassa (Toscano *et al.*, 2013; Arranz *et al.*, 2015; Sette Jr. *et al.*, 2016; Bonassa *et al.*, 2018). As técnicas de concentração energética, como a briquetagem, são importantes para a qualidade final do produto para geração de energia. Diversos estudos têm sido realizados visando avaliar o potencial energético de briquetes e pellets constituídos de resíduos madeireiros (Amorim *et al.*, 2015; Da Silva *et al.*, 2015; Spanhol *et al.*, 2015).

Ainda assim, estudos visando a utilização de resíduos madeireiros de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para geração de energia são insuficientes, devido a sua maior aplicação estar relacionada à queima direta do material residual ou à forração de camas de frango em granjas (Oliveira *et al.*, 2017).

A necessidade de mais estudos salienta a importância do presente trabalho que teve como objetivo realizar a caracterização energética do resíduo gerado do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W.H. Barrett & Golfari aos 40 anos de idade e o seu aproveitamento na forma de briquetes.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da biomassa

A caracterização da biomassa foi realizada utilizando o resíduo do processamento da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 40 anos de idade obtido de uma serraria localizada no município de Natal, Rio grande do Norte, Brasil, sendo determinados o perfil granulométrico, o teor de umidade de acordo com o preconizado na norma NBR 14929 (ABNT, 2003) e os teores de matérias voláteis, cinzas e carbono fixo, conforme a norma ASTM E872-82 (2013).

A densidade a granel foi determinada de acordo com a NBR 6922/1981 (ABNT, 1981): relação entre a massa de biomassa e o volume conhecido de um recipiente.

O poder calorífico superior (PCS) foi obtido experimentalmente através da bomba calorimétrica, por meio da metodologia estabelecida pela norma ASTM D5865-13 (2013) e o poder calorífico inferior (PCI) e útil (PCU) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Sartori *et al.* (2001), equações 1 e 2, respectivamente:

$$PCI = PCS - 600 (9H/100) \quad (1)$$

$$PCU = PCI [(100 - U) / 100] - 6*U \quad (2)$$

Em que:

H = teor de Hidrogênio (%); sendo utilizado o valor de 6% (Sette Jr *et al.*, 2018).

U = teor de umidade (%)

A densidade energética da biomassa foi calculada a partir do produto entre o valor do PCU e da densidade a granel.

Produção e análise dos briquetes

Para a compactação da biomassa na forma de briquetes, foi utilizado o resíduo de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* coletado diretamente da serraria, ou seja, com as características de granulometria e teor de umidade no momento do desdobro da

madeira. A briquetagem foi realizada em uma briquetadeira de laboratório (marca Lippel; modelo LB-32) com pressão de 140kgf.cm⁻², temperatura de 120°C, tempo de compactação de 5 minutos e resfriamento de 15 minutos com ventilação forçada. 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.

A pressão exercida está dentro da faixa utilizada por diversos trabalhos (Quirino *et al.*, 2012; Freitas *et al.*, 2016). Para cada briquete utilizou-se 40g de biomassa moída, obtendo-se ao final um briquete de aproximadamente 4 cm de comprimento e 3cm de diâmetro, tendo sido produzidos 20 briquetes.

A densidade aparente dos briquetes foi obtida através do método estereométrico, utilizando os dados de volume e massa de cada briquete.

A expansão volumétrica dos briquetes foi calculada pela mensuração da altura e do diâmetro de 5 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, conforme sugerido por Hansted *et al.* (2016).

A resistência a tração por compressão diametral (RTCD) foi realizada empregando-se uma máquina universal de ensaios EMIC – DL30000, com célula de carga de 4900 N, a uma velocidade constante de 0,3 mm.min⁻¹ (Protásio *et al.*, 2011; Quirino *et al.*, 2012), onde uma carga em sentido transversal é aplicada sobre as amostras. O ensaio foi realizado a partir de uma adaptação da norma NBR 7222 (ABNT, 1994) para determinação da resistência a tração por compressão diametral em amostras cilíndricas de concreto e argamassa, uma vez que não existe uma norma específica para resistência a tração para briquetes.

A durabilidade dos briquetes foi determinada por perda de massa das amostras, conforme descrito por Toscano *et al.* (2013) e Liu *et al.* (2014): os briquetes foram pesados para a obtenção da massa inicial e levados a uma peneira vibratória, permanecendo por 10 minutos, a 80 rotações por minuto

e pesados novamente para a obtenção da massa final, sendo então, calculada a durabilidade pela diferença de massa. A densidade energética dos briquetes foi calculada multiplicando-se o poder calorífico útil da biomassa pela densidade aparente dos briquetes.

Análise estatística

Na análise estatística, foram determinados os outliers, a distribuição dos dados e a heterogeneidade da variância. Foi realizada a análise descritiva, onde foram determinados os valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão e coeficiente de variação das características estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características do resíduo

O resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* utilizado neste estudo apresentou um perfil granulométrico constituído por partículas finas, com tamanho inferiores a 1 mm, conforme sugerido por Bergstrom *et al.* (2008) e Quirino *et al.* (2012); no qual referenciam que quanto menor o tamanho da partícula da biomassa, melhor são as características físico-mecânicas e energéticas dos briquetes. Desta forma, o resíduo do desdobro da madeira deste estudo, constituído de partículas finas na sua maioria, podem ser utilizados diretamente para a produção de briquetes com alta qualidade, sem a necessidade de processamento, como trituração e moagem, reduzindo os custos associados ao seu aproveitamento energético.

O teor de umidade é considerado um dos parâmetros mais importantes de um material utilizado para fins energéticos pois o valor do poder calorífico, por exemplo, é inversamente proporcional a quantidade de água presente no material lignocelulósico (De Souza *et al.*, 2012). No presente estudo, o resíduo madeireiro apresentou teor de umidade de 13,8%, próximo ao ideal para a produção de briquetes (12%) conforme recomendado por Da Silva *et al.* (2015) e Sette Jr. *et al.* (2018), não sendo necessária a aplicação de métodos de secagem da biomassa antes da sua densificação, reduzindo, da mesma forma, os custos de produção do briquete.

Para aplicações energéticas, além do teor de umidade e do perfil granulométrico do resíduo madeireiro, a análise imediata se constitui em parâmetro importante.

O teor de materiais voláteis médio no resíduo encontrado no presente estudo foi de 87,5% com valor mínimo de 81,2%, máximo de 89,4% e desvio padrão de 2,0%. Esses valores estão em consonância com De Souza *et al.* (2012), Amorim *et al.* (2015), Oliveira *et al.* (2017), estudando *Pinus sp.*, para uso energético, que apresentaram valores médios de 82-86%. O alto teor de materiais voláteis apresentado pelo resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é importante por ser um facilitador da queima desse material, pois esse parâmetro é o responsável pela ignição do fogo e pela velocidade da combustão (De Souza *et al.*, 2016).

O valor médio de carbono fixo obtido neste trabalho foi de 12,2%, com variação de 9,9%-18,6%. Amorim *et al.* (2015) estudaram a biomassa de espécies de *Pinus* e encontraram valores médios de 11,5% para o teor de carbono fixo. Combustíveis com alto índice de carbono fixo apresentam queima mais lenta, implicando maior tempo de residência nos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo, como corroborado em estudos conduzidos por Oliveira *et al.* (2010).

Tendo em consideração o teor de cinzas, o valor médio obtido para os resíduos de *Pinus* foi de 0,21%, com valor mínimo de 0,17% e máximo de 0,29%. Da Silva *et al.* (2015) caracterizaram diferentes biomassas para briquetagem e encontraram o valor de 0,23% de teor de cinzas para a biomassa de *Pinus sp.*, corroborando com o obtido neste estudo.

Valores baixos de teor de cinzas são interessantes do ponto de vista energético, pois altas quantidades de cinzas diminuem o poder calorífico, causando perda de energia (Protásio *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2017) e a queima de biomassa em caldeiras e fornalhas com altos teores de cinzas implicará em um processo da sua remoção mais regular e eficaz, em função da sua abrasividade que, a longo prazo, pode causar corrosão nos elementos metálicos dos queimadores (Liu *et al.*, 2014).

O poder calorífico pode ser analisado na forma de poder calorífico superior, inferior e útil, conforme apresentado na Figura 1.

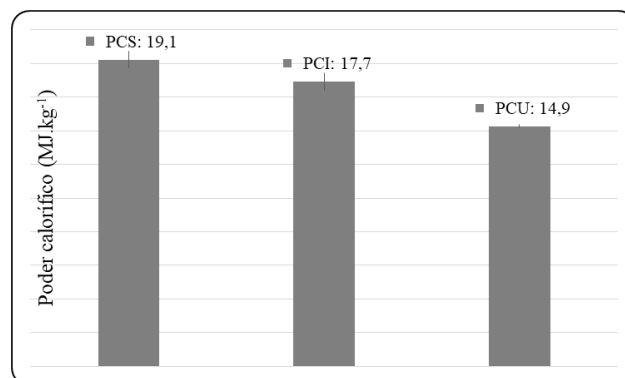


Figura 1 - Poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e útil (PCU) do resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Barras indicam desvio padrão.

Em relação ao poder calorífico superior, o resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou valor médio de 19,1 MJ.kg⁻¹; este resultado está de acordo com o encontrado por outros autores que avaliaram o potencial energético da biomassa de *Pinus sp.* (Amorim *et al.*, 2015).

A partir do poder calorífico superior, obtêm-se o poder calorífico inferior do resíduo madeireiro de 17,7 MJ.kg⁻¹; Amorim *et al.* (2015) obtiveram o valor de 16,1 MJ.kg⁻¹ para *Pinus sp.*, esse valor menor pode ser explicado pela possível contaminação da amostra usada pelos autores por outros resíduos, visto que o material residual foi coletado em serraria junto a outras espécies florestais e também em função da diferença de idade entre os materiais dos dois estudos.

O poder calorífico útil (PCU) é determinado a partir do material úmido, por esse motivo seu valor tende a ser inferior devido ao alto teor de umidade que é eliminado durante o início da combustão, diminuindo a quantidade de energia liberada (Posom *et al.*, 2016). No presente trabalho o valor de PCU obtido foi de 14,9 MJ.kg⁻¹(considerando o teor de umidade de 13,8% encontrado para a biomassa). De Souza *et al.* (2012) apresentaram o valor de 16,8 MJ.kg⁻¹para o poder calorífico útil do resíduo madeireiro de *Pinus sp.* com teor de umidade de 8,8%; esse valor mais alto está

diretamente relacionado com o menor teor de umidade presente no material.

O resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou valor médio de 320,5 kg.m⁻³ para a densidade a granel. Da Silva *et al.* (2015) avaliaram a densidade a granel da serragem de *Pinus* sp. e encontraram o valor de 180 kg.m⁻³ (sem indicação da idade da biomassa) e Oliveira *et al.* (2017) apresentaram valor de 149,8 kg.m⁻³ para a biomassa obtida do processamento da madeira de *Pinus* sp. aos 15 anos de idade.

A diferença nos valores de densidade a granel dos resíduos de *Pinus* sp. do presente trabalho em relação aos da literatura pode estar relacionada a idade das árvores das quais foram obtidos, pois quanto mais velha a árvore maior será a sua densidade (Trugilho *et al.*, 2015) e também as diferenças de granulometria do material.

A densidade energética foi calculada a partir da densidade a granel do resíduo e do poder calorífico útil, com valores médios de 4768,0 MJ.m⁻³ para a biomassa de *Pinus* sp.

Características energéticas e físico-mecânicas dos briquetes

A densidade aparente média dos briquetes foi 1280 kg.m⁻³ com coeficiente de variação de 2% (Quadro 1); este valor está de acordo com o apresentado por Oliveira *et al.* (2017) para briquetes de resíduos de *Pinus* sp. produzidos nas mesmas condições de pressão e temperatura (1220 kg.m⁻³).

A densidade aparente dos briquetes foi cerca de 3,7 vezes maior do que a densidade à granel do resíduo de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (330 kg.m⁻³); este resultado é esperado pois a pressão exercida na compactação da biomassa faz com que a densidade final do briquete seja superior à densidade da biomassa *in natura*.

A densidade energética média dos briquetes foi de 19072,0 MJ.m⁻³ (Quadro 1), este valor foi cerca de 380% maior do que a densidade energética do resíduo não compactado. Sendo assim, esse resultado demonstra que a compactação da biomassa aumenta a densidade energética, ou

seja, a quantidade de energia concentrada em uma unidade menor de espaço colocando em evidência as vantagens energéticas do processo de compactação da biomassa (Protásio *et al.*, 2011). Esse resultado também foi observado por outros autores como Fernandez *et al.* (2016), Freitas *et al.* (2016) e Oliveira *et al.* (2017) evidenciando a importância da compactação de materiais lignocelulósicos para fins energéticos.

Quadro 1 - Densidade aparente (DA), densidade energética (DE), durabilidade (D), expansão volumétrica (EV) e resistência à tração por compressão diametral (RTCD) dos briquetes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Parâmetros	DA (kg.m ⁻³)	DE (MJ.m ⁻³)	D (%)	EV (%)	RTCD (MPa)
Média	1280,0	19072,0	98,97	1,24	2,95
Máximo	1310,0	19519,0	99,75	1,68	3,22
Mínimo	1250,0	18625,0	98,49	0,87	2,63
CV (%)	2,0	3,5	2,0	12,0	8,0

A expansão volumétrica tende a ocorrer após a briquetagem da biomassa; essa expansão irá variar de acordo com o material utilizado e com as condições de umidade e de armazenamento dos briquetes. A expansão volumétrica média dos briquetes foi de 1,24% (Quadro 1). Fernandez *et al.* (2016) encontraram valor médio de 13,70% para briquetes de serragem de *Pinus* sp. produzidos com pressão de 1350 kgf.cm⁻² por 30 segundos, sem aplicação de temperatura e Da Silva *et al.* (2015) obtiveram valor médio de 7,10% para a expansão de briquetes de serragem de *Pinus* sp. também produzidos sem influência da temperatura. Por outro lado, Oliveira *et al.* (2017) apresentaram valor médio de 2,8% de expansão para o resíduo de árvores de 15 anos de *Pinus* sp. A menor expansão dos briquetes observada neste trabalho indica que as partículas foram bem aglutinadas e que a temperatura aplicada no processo de compactação influencia nesta importante propriedade, como também observado por Fernandez *et al.* (2016).

A aplicação da temperatura durante o processo de briquetagem faz com que a lignina se torne plástica agindo como um aglutinante das partículas,

promovendo maior qualidade dos briquetes e influenciando, por exemplo, na sua resistência mecânica. Em relação a este parâmetro, a resistência à tração por compressão diametral (RTCD) é fundamental para a qualidade dos briquetes pois determina a capacidade de empilhamento e transporte; quanto maior a resistência menor o risco de esfarelamento e perda de material densificado (Soares *et al.*, 2015). Para a RTCD dos briquetes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi obtido o valor médio de 2,95 MPa. Oliveira *et al.* (2017) encontraram valor médio de 3,51 MPa para briquetes de serragem de *Pinus* sp. com as mesmas condições de briquetagem.

Os briquetes produzidos no presente trabalho apresentaram valor médio de durabilidade de 98,9% (Quadro 1). De acordo com a classificação descrita por Oliveira *et al.* (1992), os briquetes produzidos neste estudo são classificados como pouco friáveis devido aos valores médios de durabilidade, sendo assim, possuem boa durabilidade e baixa perda de massa quando manuseados.

Os parâmetros analisados no presente estudo são fundamentais para a qualidade do produto final para geração de energia e estão de acordo com as normas e especificações técnicas exigidas para a comercialização de materiais densificados

apresentadas pela DIN EM ISO 17225-3 para certificação de briquetes de madeira.

Apesar dos resultados indicarem a viabilidade técnica do aproveitamento do resíduo do desdobro da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na forma de briquetes, é importante a determinação, em pesquisas futuras, da viabilidade financeira e econômica da produção de briquetes a partir do resíduo gerado nas madeiras. Da mesma forma, recomenda-se a determinação de outras características da biomassa, como os teores de lignina, holo-celulose e extrativos, importantes para a indicação do uso do resíduo como bioenergia.

CONCLUSÕES

O aproveitamento energético dos resíduos gerados pelo desdobro da madeira é uma alternativa técnica viável, visando a sua destinação correta e com maior valor agregado como bioenergia.

Os briquetes de resíduo madeireiro de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentam densidade aparente e energética, durabilidade, expansão e resistência mecânica que demonstram a sua viabilidade como fonte energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1981) – *Carvão vegetal: Ensaio físico – Determinação da massa específica – Densidade a granel*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 6922.
- ABNT (1994) – *Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 7222.
- ABNT (2003) – *Madeira: determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, NBR 14929.
- Amorim, F.S.; Ribeiro, M.X.; Protásio, T.P.; Borges, C.H.A. & Costa, R.M.C. (2015) – Produção de briquetes a partir de espécies florestais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 10, n. 4, p. 34-41. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3779>
- Arranz, J.I.; Miranda, M.T.; Montero, I.; Sepúlveda, F.J. & Rojas, C.V. (2015) – Characterization and combustion behaviour of commercial and experimental wood pellets in South West Europe. *Fuel*, vol. 142, p. 199–207.
- ASTM (2013) – *Standard test method for gross calorific value of coal and coke*. American Society for Testing Materials – ASTM D 5865-13.
- Bergström, D.; Israelsson, S.; Ohman, M.; Dahlqvist, S.A.; Gref, R.; Boman, C. & Wasterlund, I. (2008) – Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine saw dust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*, vol. 89, n. 12, p. 1324-1329. <http://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.06.001>

- Bonassa, G.; Schneider, L.T.; Canever, V.B.; Cremonese, P.A.; Frigo, E.P.; Dieter, J. & Teleken, J.G. (2018) – Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, n. 3, p. 2365-2378. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>
- Da Silva, D.A.; Yamaji, F.M.; Barros, J.L.; Róz, A.L. & Nakashima, G.T. (2015) – Caracterização de biomassas para briquetagem. *Revista Floresta*, vol. 45, n. 4, p. 713-722. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v45i4.39700>
- De Souza, M.M.; Da Silva, D.A.; Rochadelli, R. & Dos Santos, R.C. (2012) – Estimativa do poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus Taeda*. *Revista Floresta*, vol. 42, n. 2, p. 325-334. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v42i2.26593>
- De Souza, N.D.; Amodei, J.B.; Xavier, C.N.; Dias Jr., A.F. & De Carvalho, A.M. (2016) – Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico. *Revista Floresta e Ambiente*, vol. 23, n. 2, p. 270-277. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.106114>
- Eloy, E.; Caron, B.O.; Silva, D.A., Schmidt, D.; Trevisan, R. Behling, A. & Elli, E.F. (2015) – Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. *Revista Árvore*, vol. 38, n. 3, p. 551-559. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000300018>
- Fernandez, B.O.; Gonçalves, B.F.; Pereira, A.C.C.; Hansted, A.L.S.; Pádua, F.A.; Róz, A.L. & Yamaji, F.M. (2016) – Características mecânicas e energéticas de briquetes produzidos a partir de diferentes tipos de biomassa. *Revista Virtual de Química*, vol. 9, n. 1, p. 29-38. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170005>
- Freitas, P.C.; Silva, M. F.; Silva, R.T.; Coneglian, A. & Sette Jr, C.R. (2016) – Evaluation of briquettes from bamboo species produced under different temperatures. *International Journal of Current Research*, vol. 8, n. 9, p. 39260-39265.
- Hansted, A.L.S., Nakashima, G.T., Martins, M.P., Yanamoto, H., Yamaji, F.M., (2016) – Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. *Fuel*, vol. 184, p. 180-184. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.06.071>
- IBÁ (2017) – *Relatório anual 2017*. Indústria Brasileira de Árvores, DF: IBÁ. http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf
- Liu, Z.J.; Fei, B.H.; Jiang, Z.H.; Cai, Z.Y. & Liu, X.E. (2014) – Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. *Wood Science Technology*, vol. 48, n. 5, p. 903-917. <http://dx.doi.org/10.1007/s00226-014-0648-x>
- MME (2016) – *Balço Energético Nacional*. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2016. https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf
- Murara Jr, M.I.; Da Rocha, M.P. & Trugilho, P.F. (2013) – Estimativa do rendimento em madeira serrada de *Pinus* para duas metodologias de desdobro. *Floresta e Ambiente*, vol. 20, n. 4, p. 556-563. <http://dx.doi.org/10.4322/foram.2013.037>
- Oliveira, J.B.; Gomes, P.A. & Almeida, M.D. (1992) – *Estudos preliminares de normalização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal*. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.
- Oliveira, A. C.; Carneiro, A.C.O.; Vital, B.R.; Almeida, W. Pereira, B.L.C. & Cardoso, M.T. (2010) – Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Scientia Forestalis*, vol. 38, n. 87, p. 431-439.
- Oliveira, L.H.; Barbosa, P.V.G.; Lima, P.A.F.; Yamaji, F.M. & Sette Jr, C.R. (2017) – Aproveitamento de resíduos madeireiros de *Pinus* sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 40, n. 3, p. 683-691. 2017. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17010>
- Phanphanic, M. & Mani, S. (2011) – Impact of torrefaction on the grindability and fuel characteristic of forest biomass. *Bioresource Technology*, vol. 102, n. 2, p. 1246-1253. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.028>
- Posom, J.; Shrestha, A.; Saechua, W. & Sirisomboon, P. (2016) – Rapid non-destructive evaluation of moisture content and higher heating value of *Leucaena leucocephala* pellets using near infrared spectroscopy. *Energy*, vol. 107, p. 464-472. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.041>
- Protásio, T.P.; Alves, I.C.N.; Trugilho, P.F.; Silva, V.O. & Baliza, A.E.R. (2011) – Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 31, n. 68, p. 273-283. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.273>

- Protásio, T.P.; Bufalino, L.; Tonoli, G.H.D.; Couto, A.M.; Trugilho, P.F. & Guimarães Júnior, M. (2011) – Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 31, n. 66, p. 113-122. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.113>
- Quirino, W.F.; Pinha, I.V.O.; Moreira, A.C.O.M.; Souza, F. & Tomazello Filho, M. (2012) – Densitometria de raios X na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. *Scientia Forestalis*, vol. 40, n. 96, p. 525-536.
- Sartori, M.M.P.; Florentino, H.O.; Basta, C. & Leão, A.L. (2001) – Determination of the optimal quantity of crop residues for energy in sugarcane crop management using linear programming in variety selection and planting strategy. *Energy*, vol. 26, n. 11, p. 1031-1040. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00052-4)
- Sette Jr, C.R.; Freitas, P.C.; Freitas, V.P.; Yamaji, F.M. & Almeida, R.A. (2016) – Production and characterization of bamboo pellets. *Bioscience Journal*, vol. 32, n. 4, p. 922-930. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v32n4a2016-32948>
- Sette Jr, C.R.; Hansted, A.L.S.; Novaes, E.; Lima, P.A.F.E.; Rodrigues, A.C.; Santos, D.R.S. & Yamaji, F. M. (2018) – Energy enhancement of the eucalyptus bark by briquette production. *Industrial Crops and Products*, vol. 122, p. 209-213. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.057>
- Soares, V.C.; Bianchi, M.L.; Trugilho, P.F.; Höfler, J. & Pereira, A.J. (2015) – Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne*, vol. 21, n. 2, p. 191-197. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521021294>
- Spanhol, A.; Nones, D.L.; Kumabe, F.J.B. & Brand, M.A. (2015) – Qualidade dos pellets de biomassa florestal produzidos em Santa Catarina para a geração de energia. *Revista Floresta*, vol. 45, n. 4, p. 833-844. <http://dx.doi.org/10.5380/RF.v45i4.37950>
- Toscano, G.; Riva, G.; Foppa Pedretti, E.; Corinaldesi, F.; Mengarelli, C. & Duca, D. (2013) – Investigation on wood pellet quality and relationship between ash content and the most important chemical elements. *Biomass and Bioenergy*, vol. 56, p. 317-322. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.012>
- Trugilho, P.F.; Goulart, S.L.; De Assis, C.O.; Couto, F.B.S.; Alves, I.C.N.; Protásio, T.P. & Napoli, A. (2015) – Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. *Ciência Rural*, vol. 45, n. 4, p. 661-666. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130625>