



Efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes de resíduos madeireiros de paricá

Adrieli Jéssila FREITAS¹, Ana Carolina Silva COSTA¹, Aylson Costa OLIVEIRA^{1*},
Bárbara Luísa Corradi PEREIRA¹, Maria Fernanda Vieira ROCHA², Angélica de Cássia Oliveira CARNEIRO³

¹ Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

² PPG em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil.

³ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

*E-mail: aylsoncosta@hotmail.com

Recebido em junho/2016; Aceito em setembro/2016.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da pressão e do tempo de compactação nas propriedades de briquetes produzidos com resíduos de madeira laminada de paricá (*Schizolobium amazonicum*). Os resíduos provenientes da laminação de madeira foram coletados em empresas laminadoras, localizadas na região de Dom Eliseu, no estado do Pará. Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira laboratorial sendo testadas três pressões (1000, 1250, 1500 PSI) e três tempos de compactação (3, 5 e 7 minutos). Foram avaliadas: umidade de equilíbrio higroscópico, taxa de retorno no comprimento, taxa de retorno no diâmetro, carga de ruptura, densidade aparente, densidade energética e poder calorífico útil (PCU). Os resultados mostraram que a pressão e o tempo de compactação influenciaram significativamente as propriedades dos briquetes. A pressão de compactação do processo interferiu na densidade aparente e na densidade energética dos briquetes de forma semelhante, sendo as maiores médias encontradas para a maior pressão aplicada. O tempo de compactação teve menor influência nas propriedades dos briquetes. Concluiu-se que para obter uma maior produtividade, os briquetes de paricá devem ser produzidos com tempo de 3 minutos de compactação e pressão de 1500 PSI, o qual permitirá a geração de briquetes com propriedades adequadas para uso energético.

Palavras-chave: densificação, bioenergia, *Schizolobium amazonicum*.

Effect of pressure and compression time in properties of paricá wood waste briquettes

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the influence of pressure and compression time on the properties of briquettes prepared with paricá (*Schizolobium amazonicum*) veneer wood waste. The wood waste was collected in veneer companies, located in the region of Dom Eliseu, Pará. The briquettes were produced in a laboratory briquetter being tested three pressures (1000, 1250, 1500 PSI) and three times compression (3, 5, 7 minutes). Equilibrium moisture content, rate of return in length and diameter, tensile strength, apparent density, energy density and net calorific value were evaluated. The results indicated that pressure and compression time have influenced the properties of the briquettes. The compaction pressure interferes in the briquette apparent density and energetic density similarly, with higher averages found for the higher pressure. The time of compression had less influence on the properties briquettes. It was concluded that to achieve greater productivity, paricá briquettes must be produced with a time of 3 minutes and compression pressure of 1500 PSI, which will allow the generation of briquettes with properties suitable for energy use.

Keywords: densification, bioenergy, *Schizolobium amazonicum*.

1. INTRODUÇÃO

Devido ao rápido crescimento, adaptação às diversas condições edafoclimáticas e ao valor econômico de sua madeira, o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) é uma opção de espécie nativa para ser cultivada em plantios florestais (ROSA, 2006).

De acordo com o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2015), em 2014 o Brasil apresentava uma área

de 89,081ha com plantios de paricá. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), os principais destinos para sua madeira são para a produção de lâminas para compensado, forros, palitos, papel, móveis e molduras.

Durante todo o processo produtivo madeireiro utilizando como matéria prima florestas plantadas, a quantidade de resíduos gerados chega a atingir mais da metade da madeira bruta (DIAS et al., 2012). Os resíduos podem-se tornar um risco para o

meio ambiente e, conseqüentemente, para a sociedade (VALE; GENTIL 2008). O aproveitamento dos resíduos é uma das formas de minimizar o desperdício e aumentar o aproveitamento da madeira (PAULA et al., 2011).

Existem muitas formas de aproveitamento dos resíduos madeireiros. A utilização para geração de energia, por exemplo, é uma alternativa para agregar valor à matéria prima, além de ser uma forma de reduzir o consumo de combustíveis fósseis. Porém, os resíduos madeireiros normalmente apresentam alta umidade, forma irregular, tamanho variado e baixa densidade, o que pode dificultar o manuseio, armazenamento e transporte (RODRIGUES, 2010).

A transformação de resíduos florestais em biocombustíveis sólidos através da briquetagem é uma forma de viabilizar sua utilização energética (AMORIM et al., 2015). A briquetagem é um processo de reconsolidação por meio de aplicação de temperatura e/ou pressão a uma massa de partículas, com ou sem adição de ligantes (QUIRINO; BRITO, 1991).

No caso da madeira, a adição de ligantes não é necessária pois, devido à alta temperatura aplicada, a lignina sofre um processo denominado plasticização, e passa a atuar como agente ligante, além de criar uma camada que protege o briquete de variações de umidade. A aglomeração de partículas de madeira facilita as operações de manuseio do material combustível em função da redução do seu volume, além de concentrar a energia disponível (FURTADO et al., 2010).

Assim, com o uso dos briquetes, há maior geração de energia por unidade de massa do material, contribuindo para a economia no transporte, e facilitando o armazenamento, pois um mesmo volume de briquetes pode ter cinco vezes mais energia que a madeira *in natura* (QUIRINO; BRITO, 1991).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da pressão e tempo de compactação nas propriedades dos briquetes produzidos com resíduos de madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*), indicando para as indústrias laminadoras uma forma técnica e econômica de aproveitamento dos resíduos gerados durante o processo produtivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados resíduos de madeira de paricá, coletados em dez empresas laminadoras, localizadas na região de Dom Eliseu, no estado do Pará. De cada laminadora, coletaram-se quantidade semelhante de lâminas com qualidade inferior, desclassificadas após a laminação, secagem e esquadreamento, que não seriam utilizadas para confecção de painéis compensados.

A partir dos resíduos das lâminas de madeira de paricá foram confeccionadas partículas em moinho do tipo martelo, equipado com peneira de malha de 2,0 mm. Para a produção de briquetes as partículas foram classificadas manualmente em uma peneira com malha de 1,0 mm, aproveitando-se o material que ficava retido e descartando-se o que atravessava.

2.1. Caracterização da matéria-prima

Foram coletadas aleatoriamente amostras de serragem da madeira de paricá, e a densidade a granel das partículas foi determinada de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010).

Para determinação da umidade, análise química imediata e poder calorífico superior (PCS), as partículas foram moídas em um moinho de facas Thomas Wiley e depois, peneiradas.

O material utilizado para análise foi o que ficou retido entre as peneiras de 40 e 60 mesh.

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, de acordo com a norma NBR 14929 (ABNT, 2003); e a determinação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo foi seguindo os procedimentos descritos pela NBR 8112 (ABNT, 1983).

O poder calorífico superior (PCS) foi determinado segundo a norma NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

O Poder Calorífico Útil (PCU), foi estimado pelas Eqs. 1 e 2:

$$PCI = PCS - \left[600 \left(\frac{9H}{100} \right) \right] \quad (1)$$

$$PCU = [PCI(1-u) - (600u)] \quad (2)$$

sendo: H – Hidrogênio (%); u – Umidade (%/100); PCI – Poder Calorífico Inferior (kcal kg⁻¹);

O teor de hidrogênio, igual a 6,5%, considerado neste trabalho, refere-se ao valor médio observado por Vidaurre (2010) para a madeira de paricá. Para a umidade, adotou-se o valor obtido para as partículas.

A densidade energética foi obtida multiplicando-se o poder calorífico útil (PCU) pela densidade a granel.

2.2. Produção de briquetes

As partículas passaram por uma secagem em estufa com circulação de ar, a 50°C de temperatura, até atingirem a umidade desejada para formar os briquetes, aproximadamente de 12%. A massa de partículas utilizada para produção de cada briquete foi de 17 g para briquetes com dimensões médias de 3,0 cm de diâmetro e 1,5 cm de comprimento, relativas às dimensões do recipiente de briquetagem.

Os briquetes foram produzidos em briquetadeira de laboratório marca Lippel, modelo LB-32 utilizando pressões de compactação de 1000, 1250 e 1500 PSI e tempos de compactação de 3, 5 e 7 minutos, totalizando nove tratamentos. Essas pressões, em MPa, conforme o sistema internacional, correspondem a 6,89; 8,61; e, 10,34 Mpa, respectivamente. A temperatura de compactação igual a 120 °C e o tempo de resfriamento de 10 minutos foram iguais para todos os tratamentos (pressão e tempo de compactação). As condições de briquetagem foram definidas experimentalmente a partir de testes preliminares de tempo de prensagem e tempo de resfriamento. Os tempos escolhidos foram aqueles nos quais se obtiveram briquetes sem rachaduras ou fissuras. A escolha da temperatura foi em função da plasticização da lignina, que contribui para a aglomeração das partículas e, conseqüentemente, para a resistência mecânica dos briquetes. Para cada tratamento foram confeccionados três briquetes (repetições).

2.3. Propriedades dos briquetes

Para determinação da taxa de retorno e da umidade de equilíbrio higroscópico foram medidos o comprimento, o diâmetro e a massa dos briquetes após o resfriamento. A seguir, eles foram acondicionados em uma câmara climática, a uma temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 65%, até atingirem massa constante. Após o período de estabilização,

realizou-se nova determinação da massa e das dimensões dos briquetes. A taxa de retorno (TR) foi calculada através da Eq. 3:

$$TR = \frac{(D1 - D2)}{(D1)} \times 100 \quad (3)$$

sendo: TR – Taxa de Retorno (%); D1 – dimensões iniciais (mm); D2 = dimensões finais (mm).

A umidade dos briquetes, em equilíbrio higroscópico com o ambiente, foi calculada de acordo com a norma NBR 14929 (ABNT, 2003). Para obter o PCU dos briquetes, utilizou-se o mesmo procedimento aplicado para serragem (Eqs. 1 e 2), entretanto, considerando-se a umidade de equilíbrio dos briquetes para o cálculo.

A carga de ruptura foi determinada com auxílio de uma máquina universal de ensaio, modelo Losenhausen, na qual os briquetes foram comprimidos de forma contínua e progressiva a uma velocidade de 3,5 mm.min⁻¹ até a sua ruptura, no sentido perpendicular à altura do briquete. A carga máxima de ruptura dos briquetes foi definida pelo software Pavitest madeira 2.7.0.7, sendo utilizada uma metodologia adaptada da norma NBR ISO 11093-9 (ABNT, 2009), para tubetes de papel, uma vez que não existe norma específica para avaliação de propriedades mecânicas de briquetes.

A densidade aparente foi determinada pela pesagem dos briquetes e posterior imersão em mercúrio, obtendo-se o volume deslocado conforme o método da balança hidrostática descrito por Vital (1984). A densidade energética foi calculada multiplicando-se o poder calorífico útil pela densidade aparente dos briquetes.

2.4. Análise de dados

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado esquema fatorial tipo 3 x 3, sendo: três pressões (1000, 1250, 1500 PSI) e três tempos de compactação (3, 5 e 7 min), e três repetições.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para testar a normalidade e de Cochran para testar a homogeneidade das variâncias. Atendidas essas pressuposições, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando apresentaram diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si, por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização da matéria prima

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades das partículas da madeira de paricá.

Quirino (2002) avaliando a utilização energética de resíduos vegetais observou que a umidade das partículas para briquetagem deve estar entre 8 e 15% para favorecer a aglomeração e conseqüentemente obter melhores propriedades dos briquetes. A umidade média das partículas de paricá utilizadas nesse trabalho para a produção dos briquetes foi igual a 11,4%, atendendo à recomendação da literatura.

A baixa densidade a granel dos resíduos de madeira de paricá, como observado na Tabela 1, é uma das maiores limitações da sua utilização como fonte energética. Tal fato dificulta o transporte, a estocagem e a alimentação de combustível nos sistemas de queima (TUMULURU et al., 2011).

Vale et al. (2002) estudando 47 espécies de madeiras do cerrado, observaram percentuais de materiais voláteis entre 74,6 e 81,2%. O percentual de materiais voláteis observado para os resíduos de paricá também está de acordo com a literatura.

De acordo com Morais et al. (2004) a quantidade de matérias voláteis nos combustíveis de biomassa, como a madeira, varia de 76 a 86 % em base seca e são responsáveis pela maior parte da geração de calor na combustão. Sendo assim, espécies com maiores percentuais de materiais voláteis queimam mais rapidamente e o carbono fixo resultante libera energia mais lentamente. Segundo Werther et al. (2000) porcentagens de materiais voláteis acima de 80% facilitam a ignição do material e também sua queima, portanto o teor observado no paricá de 85,8% é considerado adequado para fins energéticos.

De acordo com Brand et al. (2009) os teores de carbono fixo da madeira, tanto de coníferas como de folhosas, variam de 15 a 25%, enquanto os teores de voláteis situam-se entre 75 e 85%. O teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis (OLIVEIRA et al., 2010). O paricá apresentou um teor de carbono fixo de 13,7% e 85,8% de materiais voláteis.

O teor de cinzas de 0,5% observado para as partículas de paricá está de acordo com o normalmente verificado para diferentes tipos de madeira. Bufalino et al. (2012) encontraram valores de 0,32% de cinzas para a madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*), enquanto Barcellos et al. (2005) observaram um teor de cinzas de 0,6% na madeira de *Eucalyptus grandis*. A variação do teor de cinzas pode ser relacionada com a procedência da espécie.

O baixo teor de cinzas verificado nas madeiras resulta em uma vantagem sobre outros resíduos lignocelulósicos quando utilizados para fins energéticos. Segundo Obernberger & Thek (2010), teores de cinza maiores que 3% reduzem as propriedades energéticas das madeiras. Com isso, pode-se dizer que a porcentagem de cinzas observadas nas partículas de paricá é satisfatória. Isso porque elevados teores de cinzas afetam negativamente o poder calorífico da biomassa e aumentam a frequência de limpeza dos cinzeiros das fornalhas devido ao aumento na produção de cinzas, bem como acarretam corrosão

Tabela 1. Propriedades das partículas dos resíduos da madeira de paricá.

Table 1. Particle properties of paricá wood residues.

	Propriedade	Valor médio	Desvio padrão
	Umidade (%)	11,4	0,394
	Densidade a granel (kg m ⁻³)	158,2	0,581
Análise Química Imediata	Materiais voláteis (%)	85,8	1,663
	Cinzas (%)	0,5	0,111
	Carbono fixo (%)	13,7	1,632
	Poder calorífico superior (kcal.kg ⁻¹)	4579,7	37,437
	Poder calorífico útil (kcal.kg ⁻¹)	3758,8	32,114
	Densidade energética (Gcal m ⁻³)	0,6	0,002

e incrustações nos metais utilizados na construção dos sistemas de combustão (VITAL et al., 2013).

Vidaurre et al. (2012) observaram um valor médio de PCS na madeira de paricá de 4.519 kcal kg⁻¹, sendo próximo ao valor observado nesse trabalho (Tabela 1). Quanto maior o poder calorífico menor quantidade de material será necessária para atender uma determinada demanda de energia (QUIRINO, 2002).

Considerando a umidade média das partículas (Tabela 1), o valor de PCU obtido foi igual a 3758,8 kcal kg⁻¹, porém, através das Equações 1 e 2 é possível exemplificar que se o material apresentasse um teor de umidade de 30% o PCU diminuiria para 2798,99 kcal kg⁻¹. O PCU é inversamente proporcional à umidade da madeira, ou seja, quanto maior a umidade do material, menor será a energia aproveitada durante a queima (LIMA et al., 2008).

O valor de densidade energética das partículas observada (Tabela 1) foi relativamente baixo quando comparado com outras biomassas, ou seja, a quantidade de energia transportada ou armazenada por unidade volumétrica é pequena, o que ressalta a importância da densificação do material visando a redução nos custos de transporte e armazenamento.

Protásio et al. (2011) observaram para a serragem de eucalipto um valor de densidade energética de 0,99 Gcal m⁻³, valor superior em aproximadamente 40% ao encontrado nesse trabalho para partículas de paricá, no entanto, essa diferença pode ser explicada pela maior densidade a granel (224 kg m⁻³) do eucalipto.

3.2. Propriedades dos briquetes

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios das propriedades dos briquetes de paricá que não apresentaram diferença estatística significativa a 5% de significância entre os tratamentos (pressão e tempo de compactação).

A umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes de paricá está de acordo com os valores registrados na literatura. Vilas Boas (2011), avaliando a produção de briquetes a partir de partículas de cinco espécies florestais, observou valores médios de umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes entre 9,3 e 11,3%. Ainda segundo a mesma autora, o baixo percentual de umidade favorece o transporte, ou seja, diminui os custos visto que a quantidade de energia por volume transportado é muito maior.

Os briquetes de paricá avaliados neste estudo apresentaram uma taxa de retorno na direção do diâmetro igual a 0,4 %, valor dentro da variação observada por Vilas Boas (2011), com mínimo de 0,29% e máximo igual a 0,97%. No entanto, para a taxa de retorno no comprimento a autora encontrou valores entre 5,00 e 9,08 %, valores superiores ao registrado no presente trabalho (3,4 %), valores que evidenciam a ocorrência de melhor ligação entre as partículas da madeira de paricá nos briquetes produzidos no presente trabalho.

É importante ressaltar que na temperatura utilizada para briquetagem (120°C), não há degradação térmica dos principais

Tabela 2. Propriedades dos briquetes produzidos.
Table 2. Properties of briquettes produced.

Variável	Valor médio	Desvio padrão
Umidade de Equilíbrio Higroscópico (%)	10,7	0,263
Taxa de retorno no comprimento (%)	3,4	0,285
Taxa de retorno no diâmetro (%)	0,4	0,099
Poder Calorífico Útil (kcal kg ⁻¹)	3787,9	24,853

constituintes químicos da madeira (celulose, hemicelulose e lignina), ocorrendo apenas a perda de água (PEREIRA et al., 2013). Dessa forma, os valores médios da composição química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) e do poder calorífico superior dos briquetes foram semelhantes aos da matéria-prima, conforme apresentado na Tabela 1.

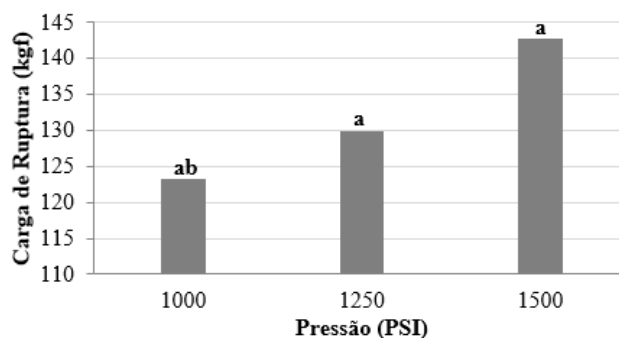
O poder calorífico útil (PCU) dos briquetes apresentou uma diferença de apenas 29,1 kcal kg⁻¹ do PCU da matéria-prima. Isso ocorreu, pois, o PCU leva em consideração o Poder Calorífico Superior e a quantidade de água presente no material, cujos valores entre partículas e briquetes foram semelhantes.

Para a carga de ruptura não houve efeito significativo do tempo de compactação. Na Figura 1 são apresentados os valores médios da carga de ruptura (kgf) para os briquetes em função da pressão de compactação.

O maior valor médio de carga de ruptura foi encontrado na pressão de 1500 PSI. Esse resultado pode ser explicado, em virtude da maior pressão aplicada durante a produção de briquetes, e assim, maior o contato entre as partículas. A maior resistência à compressão apresenta vantagens como por exemplo, a redução de danos nos briquetes durante o transporte e armazenagem, e até mesmo durante o uso energético, reduzindo sua fragmentação.

Paula et al. (2011), avaliando a produção de briquetes de resíduos de madeira (maravilha e serragem) sob uma pressão de compactação de aproximadamente 2176 PSI, observaram um valor médio de ruptura igual a 190,23 kgf, resultado superior ao verificado nesse trabalho, o que pode ser explicado pela maior pressão de compactação utilizada.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de densidade aparente dos briquetes em função da pressão e do tempo de compactação.



Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 1. Carga de ruptura (kgf) dos briquetes produzidos em função da pressão de compactação.

Figure 1. Bursting load (kgf) of briquettes produced as a function of compaction pressure.

Tabela 3. Densidade aparente (kg m⁻³) dos briquetes produzidos em função da pressão e tempo de compactação.

Table 3. Apparent density (kg m⁻³) of briquettes produced as a function of pressure and compaction time.

Pressão (PSI)	Tempo de compactação (minutos)			Média
	3	5	7	
1000	1051,2 aB	1097,4 aAB	1080,0 aB	1076,2
1250	1091,0 abAB	1052,1 bB	1129,6 aA	1090,9
1500	1117,8 aA	1120,8 aA	1145,8 aA	1128,1
Média	1086,7	1090,1	1118,5	1098,4

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De modo geral verifica-se uma tendência de aumento da densidade aparente com a elevação da pressão de compactação, nos três tempos de compactação. Para as pressões de 1000 e 1500 PSI, as médias de densidade aparente para todos os tempos foram estatisticamente iguais. Para pressão de 1250 PSI, houve diferença significativa, sendo que o maior valor médio foi observado nos briquetes produzidos com 7 minutos de compactação.

Os maiores valores médios de densidade aparente dos briquetes foram verificados naqueles produzidos na pressão de 1500 PSI. Isso pode ser explicado devido ao fato que quanto maior a pressão de compactação, maior a proximidade entre as partículas e, conseqüentemente, briquetes mais densos. Barros et al. (2011) avaliando a produção de briquetes de paricá observaram que não houve um aumento da densidade aparente dos briquetes com aumento da pressão de compactação, de 1250 PSI para 1500 PSI. Os autores também observaram uma densidade aparente média de 1051,1 kg m⁻³, valor este ligeiramente inferior à média geral observada para os briquetes de paricá produzidos neste trabalho que foi de 1098,4 kg m⁻³ (Tabela 3).

A densidade aparente média dos briquetes, em função do tempo de prensagem, foi de 1086,67 kg cm⁻³ para 3 minutos de prensagem, 1090,1 kg cm⁻³ para 5 minutos e 1118,47 kg cm⁻³ para 7 minutos. Isso mostra que quanto maior for tempo em que o material permanecer submetido a pressão, maior será densificação do material. Isso pode ser explicado pelo maior tempo em que as partículas ficam expostas à temperatura e em contato entre si, possibilitando maior transferência de calor da superfície para o interior do briquete e plasticização da lignina, e conseqüentemente, maior densidade dos briquetes (BARROS et al., 2011).

A densidade a granel das partículas de paricá era 158,2 kg m⁻³ e após a compactação obteve-se uma densidade aparente média à 11% de umidade igual a 1098,4 kg.m⁻³ para os briquetes. Esse aumento de sete vezes na densidade mostra a viabilidade da compactação dos resíduos de paricá.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de densidade energética dos briquetes em função da pressão e tempo de compactação.

Os valores médios de densidade energética para os briquetes de paricá apresentaram uma variação de aproximadamente 9,0% entre o menor e o maior valor verificado. De modo geral, para cada um dos tempos de compactação avaliados, maiores pressões estão relacionadas a maiores densidades energéticas. Isso se deve, principalmente, à relação diretamente proporcional da densidade energética com a densidade aparente dos briquetes (Tabela 3). Vale ressaltar que para a pressão de 1500 PSI, a densidade energética é estatisticamente igual em todos os

Tabela 4. Densidade energética (Gcal m⁻³) dos briquetes produzidos em função da pressão e tempo de compactação.
Table 4. Energy density (Gcal m⁻³) of the briquettes produced as a function of the pressure and compaction time.

Pressão (PSI)	Tempo de compactação (min.)		
	3	5	7
1000	3,98 aB	4,16 aAB	4,09 aB
1250	4,13 abAB	3,98 bB	4,28 aA
1500	4,23 aA	4,25 aA	4,34 aA

Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

tempos avaliados. Portanto, visando um maior rendimento por hora de trabalho e um menor consumo de energia durante a produção dos briquetes é recomendado o tempo de compactação 3 minutos.

Verifica-se um aumento de 593% na densidade energética dos briquetes produzidos quando comparado com a matéria prima *in natura* (Tabela 1). Protásio et al. (2011), avaliando a produção de briquetes com serragem de eucalipto, observaram uma densidade energética de 0,99 Gcal m⁻³ da madeira e de aproximadamente 4,2 Gcal m⁻³ para os briquetes, correspondendo a um aumento de 321%. Portanto, a melhor forma de utilizar os resíduos madeireiros, principalmente quando destinados a geração de energia, é por meio da compactação.

4. CONCLUSÕES

A produção de briquetes a partir de resíduos da laminação de paricá, visando sua utilização energética, é viável tecnicamente.

Existe maior influência da pressão em relação ao tempo de compactação sobre as propriedades dos briquetes produzidos com partículas de paricá.

A pressão de compactação relaciona-se positivamente com a carga de ruptura, densidade aparente e densidade energética.

Para a produção de briquetes de paricá deve-se utilizar pressão de 1500 PSI, com tempo de compactação de 3 minutos, visando maior produtividade e menor consumo de energia.

5. REFERÊNCIAS

- AMORIM, F. S.; RIBEIRO, M. X.; PROTÁSIO, T. P.; BORGES, C. H. A.; COSTA, R. M. C. Produção de briquetes a partir de espécies florestais. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.10, n.4, p.34-41, 2015. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3779>
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929**: Madeira: Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003. 3p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8112**: Carvão vegetal – análise química imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 6 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633**: Carvão vegetal: Determinação do poder calorífico - Método de ensaio. 1984. 13 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 11093-9 - Papel e cartão**. Ensaio de tubetes – determinação da resistência ao esmagamento. 2009. 3 p.
- ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p.
- BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.2, n.2, p.141- 158, 2005.
- BARROS, V. C. C.; GOMIDE, C. R.; SOUZA, M. M.; OLIVEIRA, A. L.; CARVALHO, A. M. M. L.; COSTA, T. O. Análise da briquetagem de resíduos da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke – Leguminosae-caesalpinioideae) para viabilização como insumo energético. In: 6 Congresso Internacional de Bioenergia, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2011.

- BRAND, M. A.; MUNIZ, G. I. B.; VALIN, M.; QUIRINO, W. F. Influência da pressão e material nas propriedades de briquetes de biomassa florestal. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- BUFALINO, L.; PROTÁSIO, T. de P.; COUTO, A. M.; NASSUR, O. A. C.; SÁ, V. A. de; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.32, n.70, p.129, 2012. <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.13>
- DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG – **DIN EN 15103 - Solid biofuels Determination of bulk density**. Alemanha, 2010.
- DIAS, J. M. C.; DE SOUSA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas agroindustriais e florestais**. EMBRAPA – AGORENERGIA. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012.
- FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.62, p.101-106, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.62.101>
- IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2014**. Brasília, 2015. 64 p.
- LIMA, E. A. de; ABDALA, M.; WENZEL, A. **Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira**. Colombo: Embrapa Florestas (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 220). 2008. 3 p.
- MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO D. C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.461-470, 2004.
- OBERNBERGER, I.; THEK, G. **The pellet handbook: The production and thermal utilization of pellets**. London: Earthscan, 2010. 593 p.
- OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.431-439, 2010.
- PAULA, L. E. de R.; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; DE ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33, n.66, p.103-112, 2011. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.103>
- PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.3, p.567-576, 2013.
- 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, 2011. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.273>
- QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Brasília, 2002, 35 p.
- QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Brasília, DF: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 16 p. (IBAMA-LPF. Série técnica, n. 13).
- RODRIGUES, V. A. J. **Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem**. 2010. 117 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- ROSA, L. S. Ecologia e silvicultura do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na Amazônia brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n.45, p.135-174, 2006.
- TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L.A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v.5, n.6, p.683-707, 2011. <https://doi.org/10.1002/bbb.324>
- VALE, A. T.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro-ES, p. 196-246, 2008.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.71-80, 2002. <https://doi.org/10.5902/198050981702>
- VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. 2010. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R., SANTOS, R. C. dos; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.2, p.365-371, 2012.
- VILAS BOAS, M. A. **Efeito do tratamento térmico da madeira para produção de briquetes**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.
- VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da madeira para fins energéticos. In: Santos, F.; Colodette, J.; Queiroz, J. H. (Org.). **Bioenergia & Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais**. 1ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013, v. 1, p. 321-354.
- WERTHER, J.; SAENGERA, M.; HARTGEA, E. U.; OGADA, T.; SIAGIB, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, Oxford, v.26, p.1-27, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(99\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(99)00005-2)