

Produção e caracterização de briquetes de resíduos agroflorestais

Letícia Costa Peres¹, Angelica de Cássia Oliveira Carneiro¹, Clarissa Gusmão Figueiró¹,
Lucas de Freitas Fialho¹

¹ Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), Universidade Federal de Viçosa

Resumo: A produção de briquetes é uma alternativa para a destinação do grande volume de resíduos agrícolas e florestais subutilizados. O briquete é um combustível de formato uniforme, maior eficiência energética e utilizado para diversas atividades domésticas e industriais. O objetivo deste trabalho foi verificar o potencial de diferentes biomassas agroflorestais para produção de briquetes. Foram utilizados cinco resíduos, sendo eles *Coffea* spp., *Mimosa* spp., *Jacaranda* spp., *Eucalyptus* spp., *Cecropia* spp. A densidade a granel, composição química imediata e estrutural, e o poder calorífico superior das partículas foram analisados. Os briquetes foram produzidos e foi determinada a densidade aparente. Os briquetes produzidos com resíduo de *Coffea* spp. tiveram as maiores densidades energéticas (20,46 GJ.m⁻³), seguidos pelos briquetes de *Cecropia* spp (19,51 GJ.m⁻³). Todas as biomassas avaliadas têm potencial para produção de briquetes.

Palavras-chave: Densidade energética; Poder calorífico; Poda.

Production and characterization of agroforestry waste briquettes

Abstract: The production of briquettes is an alternative for disposing of the large volume of underused agricultural and forestry waste. Briquette is a fuel with a uniform shape, greater energy efficiency and used for various domestic and industrial activities. The objective of this work was to verify the potential of different agroforestry biomasses for briquette production. Five residues were used, namely *Coffea* spp., *Mimosa* spp., *Jacaranda* spp., *Eucalyptus* spp., *Cecropia* spp. The bulk density, proximate analysis, structural composition, and higher heating value of the particles were analyzed. The briquettes were produced, and the apparent density was determined. Briquettes produced with *Coffea* spp. residue had the highest energy densities (20.46 GJ.m⁻³), followed by *Cecropia* spp. briquettes (19.51 GJ.m⁻³). All biomasses evaluated have potential for briquette production.

Keywords: Energy density; Calorific value; Pruning.

1. INTRODUÇÃO

A biomassa residual de atividades florestais, agrícolas e industriais ainda é subutilizada, podendo ser disposta inadequadamente e gerar passivos ambientais (Dinesha *et al.*, 2019; Evaristo *et al.*, 2020; Kpalo *et al.*, 2020). O Brasil é um dos

maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, sendo que a área plantada com culturas agrícolas no ano de 2023 foi de 93 milhões de hectares (IBGE, 2024) e a área plantada com florestas de 9,94 milhões de hectares (IBÁ, 2023). Apesar de não contabilizado, estima-se uma grande produção de resíduos que representa um depósito de energia com potencial de ser mais bem utilizada.

No entanto, as biomassas residuais apresentam, no geral, alta heterogeneidade, alto teor de umidade, baixa densidade e produção dispersa. Tais aspectos têm como consequência impactos no seu aproveitamento energético, além de desafios relacionados ao transporte, armazenamento e manuseio. Neste sentido, a compactação das biomassas é uma alternativa para viabilizar o seu uso (Nakashima *et al.*, 2017; Martinez *et al.*, 2019).

Neste sentido, a briquetagem é um método para otimizar o uso da biomassa, onde por meio da aplicação de temperatura e pressão, com ou sem a adição de ligantes, a mesma é comprimida formando um combustível com formato uniforme, que pode ser utilizado como uma alternativa para diversas atividades domésticas e industriais como secagem, criação de aves, queima de produtos de argila como cerâmica e tijolos, padarias, pizzarias, laticínios, combustível para alimentar caldeiras para gerar vapor, entre outros (Antwi-Boasiako & Acheampong, 2016).

Considerando a utilização de resíduos, a briquetagem apresenta vantagens, integrando o uso de resíduos sazonais, e com menor custo de aquisição e operação dos equipamentos (Tavares, 2014). Além disso, a briquetagem facilita o armazenamento e transporte, uma vez que o briquete adquire características desejáveis para geração de energia como baixa umidade, maior densidade e, por consequência, maior densidade energética (Martinez *et al.*, 2019; Olugbade *et al.*, 2019).

Para estudar o potencial de diferentes biomassas para produção de briquetes, de modo a incentivar o melhor aproveitamento dos resíduos agroflorestais este trabalho teve como objetivo verificar o potencial de diferentes biomassas agroflorestais para produção de briquetes estudando a sua densidade energética.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos de serraria (tronco de *Eucalyptus* spp.), e resíduos compostos de tronco e galhos de poda de culturas agrícolas (*Coffea* spp.) e de poda urbana (*Mimosa* spp.; *Jacaranda* spp.; *Cecropia* spp.).

As biomassas foram moídas em moinho martelo e classificadas em peneira 10 *mesh*. A densidade a granel foi obtida de acordo com a NBR6922 (ABNT, 1981). O material foi moído e classificado entre peneiras de 40 e 60 *mesh*, para determinação das demais propriedades das biomassas.

Para a Análise Química Imediata, os teores de voláteis e cinzas da madeira foram determinados de acordo com a NBR8112 (ABNT, 1986). O teor de carbono fixo foi determinado por diferença.

Os teores de extrativos totais da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 2001). Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicatas pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel. O teor de holoceluloses foi calculado subtraindo-se de 100 os teores de lignina total, extrativos e cinzas.

O poder calorífico superior (PCS) da biomassa foi determinado em uma bomba calorimétrica modelo IKA 300, seguindo as normativas da NBR8633 (ABNT, 1984). A densidade energética foi calculada multiplicando os valores de PCS e densidade a granel.

Os briquetes foram produzidos em uma briquetadeira modelo Lippel LB 32. Foram utilizadas partículas classificadas na peneira 10 *mesh*, com a umidade padronizada entre 8 e 9%. Foram utilizadas 15 gramas de partículas, com a temperatura da matriz de 120 °C e pressão de 1000 PSI por 5 minutos, e posterior resfriamento de 3 minutos no equipamento.

A densidade dos briquetes foi obtida pelo método de imersão em mercúrio proposto por Vital (1984). A taxa de compactação foi obtida pela divisão da densidade aparente dos briquetes pela densidade a granel das partículas. A densidade energética foi calculada multiplicando o valor de densidade aparente dos briquetes e o poder calorífico superior (PCS).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos resíduos, e ao teste de Barlett para homogeneidade das variâncias. Em seguida os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando encontradas diferenças significativas, ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades das partículas utilizadas para a produção dos briquetes das diferentes biomassas agroflorestais.

Tabela 1. Valores médios das características químicas e energéticas das partículas

	Biomassa Residual				
	<i>Coffea</i> spp.	<i>Mimosa</i> spp.	<i>Jacaranda</i> spp.	<i>Eucalyptus</i> spp.	<i>Cecropia</i> spp.
Extrativos totais (%)	9,06 a	3,73 d	7,14 b	4,38 c	4,30 c
Lignina total (%)	29,68 a	24,60 bc	24,17 c	26,05 abc	28,16 ab
Holoceluloses (%)	60,13 c	70,39 a	67,97 ab	69,2 ab	65,94 b
Cinzas (%)	1,13 bc	1,28 ab	0,73 cd	0,37 d	1,59 a
Materiais voláteis (%)	82,33 b	81,98 b	85,59 a	85,42 a	82,45 b
Carbono Fixo (%)	16,54 ab	16,74 a	13,68 c	14,21 bc	15,95 abc
PCS (MJ.Kg ⁻¹)	19,8 ab	19,9 ab	19,4 b	19,6 ab	20,0 a
Densidade a granel (Kg.m ³)	296,19 a	152,46 b	145,96 b	136,65 c	121,21 d
Densidade energética (GJ.m ⁻³)	5,87 a	3,03 b	2,83 c	2,68 c	2,42 d

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não apresentaram diferenças entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O teor de extrativos variou entre as biomassas, sendo o resíduo de *Coffea* spp. o maior (9,06%). Os extrativos da madeira são compostos por grupos diferentes grupos químicos, sendo que alguns destes, como os fenóis, podem contribuir para o aumento do poder calorífico da biomassa (Carneiro *et al.*, 2017).

Quanto aos teores de lignina, o *Coffea* spp. se destaca com o maior valor (29,68%), seguido de *Cecropia* spp. e de *Eucalyptus* spp. estatisticamente iguais entre si. Esses resultados sugerem que esses resíduos podem produzir briquetes de melhor qualidade. A lignina possui um papel importante durante a briquetagem, uma vez que com o aumento da temperatura se torna plástica, permitindo a ligação das partículas durante a compactação, em um processo denominado transição vítrea, ainda protegendo o briquete de variações de umidade (Park *et al.*, 2019; Kpallo *et al.*, 2020).

Por ter maior resistência à degradação térmica quando comparada aos demais componentes principais da madeira, a lignina degrada-se em ampla faixa de temperatura, ocasionando maior tempo de residência e reabastecimento (Solar *et al.*, 2017). Já as holoceluloses são os constituintes menos resistentes a degradação térmica na madeira (Carneiro *et al.*, 2017; Evaristo *et al.*, 2020). Além disso, a maior

energia por unidade de massa contida está na lignina quando comparada aos demais constituintes da madeira, uma vez que esta tem alta relação C/O (Pereira *et al.*, 2013; Evaristo *et al.*, 2020).

Observa-se que as biomassas avaliadas têm baixo teor de cinzas, sendo a de *Eucalyptus* spp. com o menor teor (0,37%). As cinzas são os constituintes inorgânicos da madeira, não contribuem para a produção de energia e são prejudiciais a vida útil dos equipamentos (Pereira *et al.*, 2013; Whittaker & Shield, 2017).

O teor de materiais voláteis foi diferente entre os tratamentos, sendo que os maiores teores ocorrem nos resíduos de *Jacaranda* spp. e *Eucalyptus* spp. Os materiais voláteis são relevantes para a produção de briquetes e colaboram no início do processo de combustão (Costa *et al.*, 2019).

O teor de carbono fixo teve o maior valor para os resíduos de *Mimosa* spp. (16,74%), e o menor para o de *Jacaranda* spp (13,68%), com sobreposições no teste de Tukey para os valores intermediários. Refere-se à fração do material que constitui o estágio final de combustão quando a energia é liberada lentamente, de forma que briquetes com maiores teores de carbono fixo apresentam maiores tempos de residência (Costa *et al.*, 2019).

Quanto ao poder calorífico superior, o maior valor foi observado para *Cecropia* spp. (20, 0 MJ.Kg⁻¹) e menor para *Jacaranda* spp (19,4 MJ.Kg⁻¹), com sobreposições em todos os valores intermediários no teste de Tukey. Este é um excelente parâmetro para se avaliar a o uso energético das biomassas, sendo que maiores valores indicam uma maior quantidade de energia liberada, correspondendo com a sua composição, como maiores teores de lignina e menores de inorgânicos (Protásio *et al.*, 2011; Costa *et al.*, 2019).

Observa-se que a densidade a granel das partículas diferiu significativamente entre as biomassas avaliadas, com o maior valor para resíduo de *Coffea* spp. e o menor para o de *Cecropia* spp. A densidade energética das biomassas seguiu a mesma tendência. Uma vez que não há grandes diferenças entre o poder calorífico das biomassas, a variável que mais influenciou estes resultados foi a densidade à granel.

Na tabela 2, os valores de densidade aparente, taxa de compactação e densidade energética dos briquetes em função do tipo de biomassa.

Tabela 2. Propriedades dos briquetes em função do tipo de biomassa

Propriedades	Biomassa Residual				
	<i>Coffea</i> spp.	<i>Mimosa</i> spp.	<i>Jacaranda</i> spp.	<i>Eucalyptus</i> spp.	<i>Cecropia</i> spp.
Densidade aparente (Kg.m ⁻³)	1033,07 a	933,78 c	964,36 b	874,64 d	973,87 b
Taxa de compactação	3,5 d	6,1 c	6,6 b	6,4 bc	8,0 a
Densidade energética (GJ.m ⁻³)	20,46 a	18,59 c	18,71 c	17,12 d	19,51 b

Valores seguidos da mesma letra, na linha, não apresentaram diferenças entre si, pelo teste de Tukey com 5% de significância

O maior valor para densidade aparente dos briquetes foi obtido para os produzidos com resíduo de *Coffea* spp., e a menor para o de *Eucalyptus* spp. A densidade aparente dos briquetes não seguiu a mesma tendência que a densidade a granel das partículas.

Observa-se que o resíduo de *Coffea* spp., apesar de ter menor taxa de compactação, formou briquetes com maior densidade aparente, provavelmente devido ao maior teor de lignina e a maior densidade a granel deste resíduo. Por outro lado, *Cecropia* spp. obteve maior taxa de compactação, devido alta densidade aparente dos briquetes.

A densidade energética dos briquetes foi maior que a das partículas, devido ao incremento na densidade. Considerando o aumento na densidade energética, as biomassas de menores densidades foram as mais beneficiadas pelo processo de briquetagem. Quanto menor a densidade a granel da biomassa, maior será o aumento percentual da sua densidade após a compactação e melhor será a acomodação das partículas (Protásio *et al.*, 2011).

4. CONCLUSÃO

Os briquetes produzidos com biomassa de *Coffea* spp. foram os mais densos e com maiores densidades energéticas. O briquete de *Cecropia* spp. obteve maior taxa de compactação, devido a menor densidade a granel das partículas desta biomassa. Todas as biomassas avaliadas têm potencial para produção de briquetes, havendo incremento significativo da densidade energética dos resíduos, com destaque para o resíduo da poda de *Coffea* spp.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF-UFV).

6. REFERÊNCIAS

ANTWI-BOASIAKO, C.; ACHEAMPONG, B. B. Strength properties and calorific values of sawdust-briquettes as wood-residue energy generation source from tropical hardwoods of different densities. **Biomass and Bioenergy**, n. 85, p. 144-152, 2016.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, P. G. U. *et al.* Caracterização energética das madeiras de clones de Eucalyptus cultivados em diferentes localidades. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 8, n. 3, 127-135, 2017.

COSTA, E. V. S.; PEREIRA, M. P. C. F.; DA SILVA, C. M. S. *et al.* Torrefied briquettes of sugar cane bagasse and Eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, n. 43, v. 1, p. 1-9, 2019.

DINESHA, P.; KUMAR, S.; ROSEN, M. A. Biomass Briquettes as an Alternative Fuel: A Comprehensive Review. **Energy Technol.** v. 7, 2019

EVARISTO, R. B. W.; VIANA, N. A.; GUIMARÃES, M. G. *et al.* Evaluation of waste biomass gasification for local community development in central region of Brazil. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2020.

FELFLI, F. F.; MESA P, J. M. ROCHA, J. D. *et al.* Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 236 e 242, 2011

GOLDSCHIMID O. Ultraviolet spectra. In: K.V. SARKANEN, C.H. LUDWING, (Eds) **Lignins**, New York: Wiley Interscience. 1971, 241-266.

GOMIDE J. L.; DEMUNER B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado, **O Papel** 47, 1986, 36-38.

Indústria Brasileira de Árvores (IBA). **Sumário executivo 2023**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2023-r.pdf>. Acesso em 20/04/2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**: tabela 1618 - Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras, março de 2024. Safra 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/lspa/tabelas>. Acesso em 20/04/2024.

KPALO, S. Y.; ZAINUDDIN, M. F.; MANAF, L. A.; ROSLAN, A. M. A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. **Sustainability**, v. 12, 2020

MARTINEZ, C. L. M.; SERMYAGINA, E.; CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Production and characterization of coffee-pine wood residue briquettes as an alternative fuel for local firing systems in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 123, p. 70–77, 2019

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S. *et al.* Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**, Niteroi, v.9, n. 1, p. 150-162, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR6922**: Carvão vegetal: ensaios físicos - determinação da massa específica (densidade a granel). Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR8112**: Carvão Vegetal – Análise Imediata. Rio de Janeiro. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

PARK, C.; YOUE, W.; KIM, S. *et al.* Effect of Lignin Plasticization on Physico-Mechanical Properties of Lignin/Poly(Lactic Acid) Composites. **Polymers**. v.11, n. 12:2089, 2019.

PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L. *et al.* Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 567-576, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; ALVES, I. C. N.; TRUGILHO, P. F. *et al.* Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 273-283, 2011.

SOLAR, J., HERNANDEZ, A., LOPEZ-URIONABARRENECHEA, A. *et al.* From woody biomass waste to biocoke: influence of the proportion of different tree components. **Eur. J. Wood Prod.** 75, 485–497, 2017.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI test methods **T 204 om-88**: solvent extractives of wood and pulp. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TAVARES, S. R. L. **Biocombustíveis Sólidos: fonte energética alternativa visando à recuperação de áreas degradadas e à conservação do Bioma Caatinga**. Embrapa, Brasília, DF. Editora do IFRN, Natal, RN. 2014, 204 p.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21p.

WHITTAKER, C.; SHIELD, I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 1-11, 2017.