



ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO COM USO DE DOIS AGLUTINANTES

Augusto Ribeiro Kaspary^{1*}, Isaias Tolentino Araújo de Souza¹, Gustavo Jorda da Silva¹, Weverton Williams Silva Costa¹, Pedro Jara Cipola¹, Bruno Dario L. O. S. S Filho e Sobrinho¹, Vania Aparecida de Sá¹, Amanda Santana Peiter¹,
Universidade Federal de Alagoas¹,
* augusto.kaspary@ceca.ufal.br.

RESUMO

A produção de carvão vegetal no Brasil gera vasta quantidade de finos (mais de 1,6 milhão de toneladas/2023), resíduo com potencial para densificação via briquetagem. Este processo visa aprimorar sua densidade energética e desempenho na combustão, oferecendo uma alternativa sustentável. O presente estudo avaliou a influência de dois aglutinantes naturais, amido de milho e amido de mandioca, nas propriedades químicas de briquetes fabricados a partir de finos de carvão vegetal. O experimento envolveu a produção de briquetes utilizando 180g de finos de carvão e 20g de aglutinante diluído em água, seguida de prensagem e secagem natural. Vinte amostras foram submetidas à análise química imediata, determinando umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. O poder calorífico superior (PCS) foi estimado pela equação de Goutal. A análise estatística (ANOVA) demonstrou que o tipo de aglutinante influenciou significativamente os teores de materiais voláteis, cinzas e o poder calorífico superior ($p < 0,05$), enquanto a umidade e o carbono fixo não apresentaram diferenças estaticamente significativas. Os briquetes com amido de mandioca revelaram maior PCS e teor de voláteis, e os de amido de milho resultaram em maior teor de cinzas. Embora o elevado teor de cinzas (aprox. 25-27%) sugira a necessidade de otimização da matéria-prima ou processo, os resultados confirmam a viabilidade da briquetagem de finos de carvão vegetal para produção de biocombustível.

Palavras-chave: Biomassa vegetal, Combustão, Eficiência energética.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do mundo, com uma produção de 6,7 milhões de toneladas em 2023, quase totalmente destinada ao mercado interno, especialmente para atender à demanda da siderurgia nacional (IBÁ, 2024). As etapas de produção, transporte e manuseio do carvão vegetal geram uma quantidade significativa de finos, que podem representar até 25% do volume total (VIEIRA et al., 2018). Considerando esse percentual sobre a produção registrada em 2023, estima-se a geração de aproximadamente 1,67 milhão de toneladas de finos de carvão vegetal, grande parte ainda sem destinação adequada.

A briquetagem é uma alternativa viável para o aproveitamento de resíduos vegetais, consistindo na compactação de partículas com granulometria adequada, com ou sem adição de aglutinantes e tratamento térmico. No caso do carvão vegetal, o uso de aglutinantes é comum. A técnica é eficiente na concentração de energia, já que 1m³ de briquetes pode conter até cinco vezes mais energia que o mesmo volume de resíduos, devido à maior densidade e poder calorífico (DIAS JUNIOR et al, 2016). Além disso, produz um combustível mais uniforme e resistente, facilitando o manuseio, o armazenamento e o transporte (MARTINS et al., 2016).

A análise química imediata do carvão vegetal permite a avaliação da qualidade da biomassa para fins energéticos por meio da determinação dos teores de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, parâmetros essenciais para prever o comportamento do material durante a combustão. (VALE, 2010). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de dois aglutinantes, o amido de milho e o amido de mandioca, nas propriedades químicas dos briquetes produzidos a partir de finos de carvão vegetal, com ênfase em seu potencial energético.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção dos Briquetes

Os finos de carvão vegetal utilizados no experimento foram obtidos a partir da carbonização de ponteiros e galhos de eucaliptos. O material foi submetido à moagem manual, com auxílio de um pistilo de cerâmica, seguido de peneiramento utilizando uma malha 10 mesh (abertura de 2 mm), visando à uniformização da granulometria.

Para a produção de briquetes de finos de carvão, a adição de aglutinantes é uma etapa essencial, visto que a ausência de uma substância ligante resultaria em um material compactado sem coesão e estabilidade adequadas para manuseio e uso como combustível. Para o presente estudo, foram utilizados dois tipos de aglutinantes naturais: amido de milho e amido de mandioca.

A formulação dos aglutinantes consistiu na diluição de 20g do amido (milho e mandioca) em 150 mL de água destilada, com posterior aquecimento em micro-ondas comercial por 1 minuto, promovendo a textura aglutinante (cola) para a mistura. Para a produção dos briquetes, 180 gramas de finos de carvão foram misturados com 20 gramas de aglutinante de forma manual, utilizando uma espátula de vidro em um béquer de vidro de aproximadamente 13 cm de diâmetro.

Foram produzidas cinco repetições de briquetes para cada tipo de aglutinante. A briquetagem foi realizada utilizando uma prensa hidráulica, com aplicação de 2 toneladas de pressão por briquete, durante 5 minutos de residência. O processo de prensagem foi realizado no Laboratório de Biomassa do CECA - UFAL. Após a prensagem, os briquetes foram submetidos à secagem natural.

Análise química das Amostras

A análise química imediata dos briquetes de carvão vegetal foi realizada seguindo a metodologia descrita na norma da ASTM D1762 (2021). Essa análise consistiu na determinação do teor de umidade, materiais voláteis e cinzas, por meio da medição da perda de massa das amostras em condições específicas. As propriedades químicas avaliadas refletem a qualidade do produto final proposto como biocombustível.

Para a preparação das amostras, os briquetes foram macerados e classificados utilizando-se peneiras de 45 e 60 mesh. Este procedimento de maceração e classificação, conforme o método da norma, é uma etapa padrão na análise química imediata de carvão vegetal para garantir a homogeneidade e a precisão nas determinações.

As amostras foram colocados no forno mufla a uma temperatura de 105^a para a determinação da umidade e de 950^a para a determinação de cinzas e materiais voláteis. A determinação do teor de carbono fixo (TCF) é uma medida indireta, obtida através do cálculo da seguinte equação:

$$TCF = 100 - (U + TMV + TCz)$$

onde: TCF = Teor de Carbono Fixo em %; U = Umidade em %; TMV = Teor de Material Volátil em % e TCz = Teor de Cinzas em %

O poder calorífico superior foi estimado, aplicando-se a Fórmula de Goutal (Mendes et al., 1982), expressa pela Equação 1:

$$PCS = (82 Cf + AV)$$

onde: PCS = Poder calorífico superior, em Kcal/Kg; Cf = Percentagem de carbono fixo; V = Percentagem de material volátil e A = Coeficiente dado pela relação V/(V + C).

O experimento foi conduzido sob um delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (briquetes com amido de milho e briquetes com amido de mandioca) e cinco repetições de duplicatas. Para a análise estatística dos dados obtidos de umidade, materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior, utilizou-se a análise de variância (ANOVA), por meio do teste F. Esta análise foi empregada para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tratamentos. Adotou-se um

nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para todas as comparações. Os cálculos foram realizados utilizando o software estatístico R, com o auxílio do ambiente RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química imediata dos briquetes de carvão vegetal é um indicativo fundamental de suas propriedades como biocombustível. Os dados obtidos para umidade, materiais voláteis, cinzas, carbono fixo e poder calorífico superior são apresentados na Tabela 1. A influência dos aglutinantes foi avaliada por meio da análise de variância (ANOVA), utilizando o teste F, com nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$), conforme descrito na metodologia.

Tabela 1. Análise Química Imediata e Poder Calorífico Superior dos briquetes com diferentes aglutinantes.

Parâmetro	Carvão + Amido de Milho (Média \pm DP)	Carvão + Amido de Mandioca (Média \pm DP)	Valor p (Teste F)
Umidade (% b.u.)	4,51 \pm 2,92 a	4,38 \pm 2,42 a	0,462
M. Voláteis (% b.s.)	27,67 \pm 4,42 b	32,19 \pm 1,49 a	0,00206
Cinzas (% b.s.)	27,68 \pm 11,50 a	25,61 \pm 7,75 b	0,00352
C.F. (% b.s.)	41,48 \pm 2,04 a	40,44 \pm 1,08 a	0,237
PCS (Kcal/Kg)	5.612,96 b	5.891,28 a	0,00384

Legenda: DP = Desvio Padrão; PCS = Poder Calorífico Superior; b.u. = base úmida; b.s. = base seca. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste F ($p < 0,05$).

Para a umidade e o carbono fixo, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os briquetes com amido de milho e amido de mandioca ($F=0,566$, $p=0,462$ e $F=1,503$, $p=0,237$, respectivamente). Isso indica que, para essas propriedades, a escolha do aglutinante não teve um impacto diferenciado. Os teores de umidade observados estão de acordo com o esperado para a matéria-prima e o processo de secagem, sendo favoráveis para a combustão.

Em contraste, o teor de materiais voláteis revelou uma diferença estatisticamente altamente significativa ($F=13,19$; $p=0,00206$). Os briquetes com amido de mandioca (Média: 32,19%) apresentaram teor superior aos de amido de milho (Média: 27,67%), sugerindo que a composição dos carboidratos de cada aglutinante pode influenciar a liberação de voláteis durante a decomposição térmica.

O teor de cinzas também demonstrou uma diferença estatisticamente altamente significativa ($F=11,46$; $p=0,00352$). Os briquetes de amido de mandioca (Média: 25,61%) apresentaram teor de cinzas significativamente menor em comparação com os de amido de milho (Média: 27,68%). O elevado teor geral de cinzas em ambos os tipos de briquetes (aproximadamente 25-27%) é consideravelmente mais alto do que o encontrado em carvão vegetal de boa qualidade (em torno de 5% a 10%), conforme Mendes et al. (2016). Este alto percentual, aliado aos menores teores de carbono fixo (cerca de 40-41%), abaixo da média de 70% para carvão puro segundo Martins, compromete negativamente o desempenho energético dos materiais.

Por fim, o Poder Calorífico Superior (PCS) mostrou uma diferença estatisticamente altamente significativa ($F=11,19$; $p=0,00384$). O briquete de amido de mandioca (Média: 5.891,28 Kcal/Kg) apresentou um PCS superior ao de amido de milho (Média: 5.612,96 Kcal/Kg), evidenciando que o amido de mandioca confere uma vantagem relevante em termos de potencial energético ao produto final. Embora os valores de PCS sejam considerados bons (Soares, 2015), são ligeiramente inferiores a alguns estudos similares em briquetes de carvão que registraram PCS acima de 6.000 Kcal/Kg (Donato et al., 2015), o que pode ser atribuído ao alto teor de cinzas e às variações na matéria-prima e processo.

CONCLUSÕES

Os briquetes de finos de carvão vegetal produzidos apresentaram baixos teores de umidade, o que é favorável para a combustão. A análise estatística (Teste F) demonstrou que a escolha do aglutinante influenciou significativamente os teores de materiais voláteis, cinzas e o poder calorífico superior (PCS). Briquetes com

amido de mandioca conferiram maior teor de voláteis e PCS, enquanto os de amido de milho resultaram em maior teor de cinzas. Não houve diferença estatística na umidade e no carbono fixo entre os tratamentos. Considerando as propriedades energéticas e os teores de resíduos, os briquetes com amido de mandioca apresentaram, de forma geral, melhores resultados.

Apesar do elevado teor de cinzas nos briquetes (aproximadamente 25-27%), o Poder Calorífico Superior obtido, especialmente o do briquete de amido de mandioca (5.891,28 Kcal/Kg), atesta o bom potencial energético desses materiais, indicando sua viabilidade como biocombustível. Para aprimorar significativamente a qualidade e o valor desses briquetes, sugere-se que futuras pesquisas se concentrem em refinar o processo ou a seleção da matéria-prima. É fundamental realizar análises mais aprofundadas para identificar a causa exata do elevado teor de cinzas e, a partir daí, desenvolver e implementar estratégias eficazes para sua atenuação ou diminuição. Essa otimização seria crucial para elevar ainda mais o poder calorífico e expandir o potencial de uso desses biocombustíveis

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1762**: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, West Conshohocken, PA, 2021.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M. de; CARVALHO, A. M.; BENICIO, E. L.; BRITO, J. O. Produção de briquetes de moinha de carvão vegetal e resíduos lignocelulósicos visando uso bioenergético. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, 2016.

DONATO, D. B.; SILVA, C. M. S.; MAGALHÃES, M. A.; ARAÚJO JUNIOR, C. A.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R. Propriedades de briquetes obtidos de finos de carvão vegetal. **Ciência da Madeira**, 6(2), 107-111, Viçosa, 2015.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES: **Histórico do Desempenho do Setor, 2024**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>>. Acesso em maio/2025.

MARTINS, M. P.; BENÍCIO, E. L.; DIAS JÚNIOR, A. F. ; ALMEIDA, R. B.; CARVALHO, A. M.; YAMAJI, F. M. Produção e avaliação de briquetes de finos de carvão vegetal compactados com resíduo celulósico proveniente da indústria de papel e celulose. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 40, n. 1, p. 173–180, 2016.

MENDES M.G: GOMES P.A.: OLIVEIRA J.B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: Penedo WR (Ed.) **Carvão Vegetal**. Belo Horizonte, CETEC – Centro Tecnológico de Minas Gerais. p.75-90. 1982.

SOARES, V. C. et al. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, p. 191-197, 2015.

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n.1, 2010.

VIEIRA, A. T. O., NASCIMENTO, A. M., ANDRADE, A. M., et al. Propriedades termoquímicas de briquetes produzidos com finos de carvão vegetal e resíduos de Pinus spp, **Scientia Forestalis**, v. 46, n.119, pp.483-493, 2018.