ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE UM BRIQUETE COMERCIAL DE CARVÃO VEGETAL.

Luciano Marques Pinheiro Dias, Ana Luiza Abreu Oliveira, David Lincoln Goulart Souza, Ricardo Gomes de Oliveira, Edgard Geraldo Bertoli Trindade, Bruno Oliveira Lafetá, Caroline Junqueira Sartori.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais/ Campus São João Evangelista – Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, lucianompd7@gmail.com, mariaeeluizaa@gmail.com, linconl071.com@gmail.com, ricardo.gomes@ifmg.edu.br, edgardgbtrindade@gmail.com, bruno.lafeta@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br

Resumo
O carvão vegetal é amplamente utilizado como fonte de energia no Brasil, e a produção de briquetes tem se destacado como alternativa para o aproveitamento de resíduos e finos de carvão. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a análise química imediata de um briquete de carvão vegetal, visando avaliar sua qualidade energética. Foram determinados os teores de umidade em base úmida, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, bem como o poder calorífico superior, conforme metodologias normatizadas. Os resultados indicaram valores médios de 11,77% de umidade, 20,06% de materiais voláteis, 10,08% de cinzas e 69,86% de carbono fixo. O poder calorífico superior estimado foi de 7.915,43 kcal/kg. Apesar das limitações associadas aos elevados teores de umidade e cinzas, os resultados evidenciam que o briquete de carvão vegetal apresenta potencial para uso energético, principalmente em função do elevado teor de carbono fixo e do alto poder calorífico, destacando a importância do controle da matéria-prima e do processo produtivo para melhoria da qualidade do combustível.
Palavras-chave: Biomassa energética. Carbono fixo. Qualidade energética. Resíduos industriais. Poder calorífico.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal

Introdução

O carvão vegetal é amplamente utilizado no Brasil como fonte de energia renovável, tanto para fins domésticos quanto industriais, com destaque para aplicações nos setores siderúrgico e metalúrgico. Esse material é obtido por meio do processo de carbonização ou pirólise da madeira, proveniente majoritariamente de florestas plantadas, sobretudo de espécies do gênero Eucalyptus, amplamente utilizadas devido ao rápido crescimento, elevada produtividade e às características favoráveis à produção de energia e à carbonização (ANDRADE; CARVALHO, 1998; IBÁ, 2023). Nesse contexto, a produção de carvão vegetal e de seus derivados, como os briquetes, tem ganhado destaque como alternativa para o aproveitamento de resíduos e finos de carvão, contribuindo para maior eficiência no uso da biomassa e para a redução de impactos ambientais (RIBEIRO; VALE, 2006).

A qualidade do carvão vegetal é diretamente influenciada pelas propriedades químicas e físicas da matéria-prima, bem como pelas condições do processo de carbonização, tais como taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de residência (BRITO, 1993; INTERAMINENSE, 2019; RODRIGUES et al., 2023). Parâmetros como teor de umidade, matéria volátil, carbono fixo e teor de cinzas constituem a chamada análise química imediata e são amplamente utilizados para avaliar o desempenho energético do carvão, seu poder calorífico e sua adequação a diferentes usos (ABTCP, 1974; PAES et al., 2012; SOUZA et al., 2016). Elevados teores de carbono fixo e baixos teores de cinzas são indicativos de um combustível de maior qualidade, enquanto altos conteúdos de matéria volátil influenciam o comportamento de ignição e combustão (CHAVES et al., 2013).

No caso dos briquetes de carvão vegetal, essas análises tornam-se ainda mais relevantes, uma vez que o processo de briquetagem pode envolver diferentes proporções de finos, aditivos e aglutinantes, alterando as características químicas do produto final. Estudos demonstram que variações nas propriedades químicas da madeira, como teores de lignina, holocelulose e extrativos, bem como a

relação siringila/guaiacila, impactam diretamente o rendimento e a qualidade do carvão produzido (SANTOS, 2008; SANTOS et al., 2016; ROUSSET et al., 2011). Além disso, normas técnicas e legislações específicas estabelecem parâmetros mínimos de qualidade para comercialização e uso do carvão vegetal, reforçando a necessidade de caracterização adequada desses produtos (SÃO PAULO, 2003).

Dessa forma, a análise química de um carvão vegetal comercial de briquete constitui uma ferramenta essencial para a avaliação de sua qualidade energética e conformidade com padrões técnicos. Nesse viés, o presente trabalho tem como objetivo determinar as propriedades químicas imediatas de um briquete comercial de carvão vegetal.

Metodologia

Para a realização deste estudo, foi obtido um briquete comercial de carvão vegetal. De acordo com as especificações do fabricante, o produto foi produzido a partir de finos de carvão e resíduos provenientes das fornalhas resultantes da queima de cavacos de eucalipto e pinus. Todo o processo de produção ocorre em ambiente industrial, seguindo rigorosamente as normas de fabricação vigentes. O material passou por etapas de lavagem e secagem, com o objetivo de eliminar impurezas e cinzas, conferindo maior qualidade ao produto final. Após esse tratamento, foi incorporado amido de milho como aglutinante, seguido pelas fases de moldagem, secagem final, resfriamento e embalagem (ECOMAIS, 2023).

O carvão foi submetido a etapas de trituração em moinho de facas do tipo Wiley, seguidas de peneiramento em peneiras de 40 e 60 mesh, sendo utilizado o material retido na peneira de 60 mesh. Esse processo de trituração foi realizado até a obtenção de uma quantidade suficiente de material para que todas as análises realizadas fossem conduzidas em triplicata, de acordo com normativas técnicas (ABTCP, 1974). Além disso, para a trituração, foram consideradas diferentes regiões do briquete para garantir uma representação realista do material.

Para a determinação do teor de umidade do carvão, utilizou-se cerca de 1,0 g da amostra, com o auxílio de uma balança de precisão e cadinhos de porcelana previamente secos e tarados. Após a medição da massa úmida (Mu), as amostras foram levadas à estufa com circulação de ar, mantida a 105 °C, onde permaneceram por 24 horas para secagem. Em seguida, foram acondicionadas em dessecador por 20 minutos para resfriamento. Posteriormente, realizou-se nova pesagem, obtendo-se a massa seca (Ms), o que possibilitou o cálculo da umidade em base úmida (Ubu), conforme a Equação 1.

$$Ubu = \frac{Mu - Ms}{Mu} \; x \; 100 \qquad Eq.\ 1$$

Ubu: umidade em base úmida, em %;
Mu: massa úmida, em g;
Ms: massa seca, em g.

Após a obtenção da massa seca do carvão, as amostras em cadinhos devidamente tampados foram empregadas na análise de materiais voláteis, sendo submetidas ao aquecimento em mufla a 950 °C. Antes da exposição direta, realizou-se um pré-aquecimento de dois minutos na porta da mufla para adaptação térmica, seguido de três minutos na entrada do equipamento. Posteriormente, as amostras permaneceram por seis minutos no interior da mufla fechada. Em seguida, aguardou-se cerca de 30 minutos para o resfriamento, e a massa seca isenta de voláteis (Mms) foi determinada em balança de precisão, possibilitando o cálculo do teor de materiais voláteis conforme a Equação 2.

$$TMV = \frac{Ms - Mms}{Ms} \; x \; 100 \qquad Eq.\ 2$$

TMV: teor de materiais voláteis em %;
Ms: massa da amostra seca em estufa, em g;
Mms: massa, em g após o tratamento a 950°C.

Para a determinação do teor de cinzas do carvão, as amostras foram colocadas na mufla destampadas, mantidas a 750 °C por um período de 6 horas. Após o resfriamento em dessecador, a

massa residual de cinzas (Mr) foi medida em balança de precisão. O cálculo do teor de cinzas foi realizado com base na Equação 3, considerando a massa inorgânica remanescente após a incineração.

$$TCz = \frac{Mr}{Ms} \; x \; 100 \qquad Eq.\ 3$$

TCz: teor de cinzas em %;
Ms: massa da amostra seca em estufa em g;
Mr: massa, em g do resíduo após a incineração da matéria orgânica.

A partir dos parâmetros previamente determinados, o teor de carbono fixo (TCF) do carvão foi calculado por meio da aplicação da Equação 4.

$$TCF = 100 - TMV - TCz \qquad Eq.\ 4$$

O PCS foi estimado pela Equação de Goutal (SATER et al., 2011), apresentada na Equação 5, considerando os teores de carbono fixo (Cf, % em massa), materiais voláteis (V, % em massa) e o coeficiente A, obtido a partir da razão V/(V + Cf).

$$PCS = (82 * Cf + A * V) \# Eq.5$$

Resultados

Os valores médios de umidade em base úmida (Ubu), Teor de materiais voláteis (TMV), Teor de cinzas (TCz) e Teor de carbono fixo (TCF), bem como os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação encontram-se discriminados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise química imediata do carvão vegetal de briquete.

Teor (%)	Média	Desvio padrão	CV
Ubu	11,77	0,09	0,80
TMV	20,06	1,68	8,36
TCz	10,08	0,38	3,73
TCF	69,86	1,46	2,10

Fonte: Autores (2025)

Verificou-se teores médios de umidade na base úmida do carvão com valores de 11,77%. O resultado da análise química do carvão de briquete indica uma média de 20,06% de materiais voláteis. O teor médio de cinzas verificado foi de 10,08%. O teor médio verificado de carbono fixo foi de 69,86%. O poder calorífico superior determinado pelo emprego da fórmula de Goutal foi de 7915,43 kcal/kg.

Discussão

Os resultados da análise química imediata do carvão vegetal de briquete evidenciam características importantes para sua avaliação energética. O teor médio de umidade em base úmida observado (11,77%) é considerado elevado para aplicações energéticas eficientes, uma vez que a presença de água no combustível implica em perdas de energia durante a combustão, devido ao consumo de parte do calor gerado para evaporação da umidade (BRITO; BARRICHELO, 1982; TRUGILHO et al., 2001; DA SILVA, 2018). Segundo Protásio et al. (2013), teores elevados de umidade reduzem o rendimento térmico e comprometem o desempenho do carvão em processos industriais.

O teor médio de materiais voláteis (20,06%) encontra-se dentro da faixa esperada para carvões vegetais de boa qualidade energética. De acordo com Brito e Barrichelo (1982), teores moderados de materiais voláteis favorecem a ignição do combustível e contribuem para uma combustão mais estável, evitando queimas muito rápidas ou excessiva liberação de fumaça. Esse comportamento é desejável, especialmente em aplicações que demandam controle da taxa de queima.

O teor de cinzas observado (10,08%) apresentou-se elevado quando comparado aos valores considerados ideais para carvão vegetal, geralmente inferiores a 1,5% (TRUGILHO; SILVA, 2001). O elevado teor de cinzas indica maior presença de constituintes minerais não combustíveis, o que pode estar associado tanto à matéria-prima utilizada (resíduos de fornalha) quanto a impurezas incorporadas durante o processo de produção do briquete. Altos teores de cinzas reduzem o poder calorífico do combustível e podem causar problemas operacionais, como incrustações e aumento do volume de resíduos após a queima (PROTÁSIO et al., 2014).

Em contrapartida, o teor médio de carbono fixo (69,86%) indica qualidade energética satisfatória do carvão de briquete analisado, se aproximando da faixa encontrada no produzido pela madeira de clones de eucalipto, cujo carbono fixo variam de 70 a 80% (CHAVES et al, 2013). O carbono fixo representa a fração responsável pela maior parte da liberação de energia durante a combustão, sendo diretamente relacionado ao tempo de queima e ao poder calorífico do combustível (BRITO; BARRICHELO, 1982; TRUGILHO et al., 2005). Esse comportamento é corroborado pelo elevado poder calorífico superior estimado pela fórmula de Goutal, que apresentou valor de 7.915,43 kcal/kg, compatível com valores relatados na literatura para carvões vegetais destinados à geração de energia (PROTÁSIO et al., 2013).

Dessa forma, observa-se que, apesar das limitações impostas pelos elevados teores de umidade e cinzas, o carvão vegetal de briquete apresenta características energéticas relevantes, especialmente em função do alto teor de carbono fixo e do poder calorífico superior, evidenciando seu potencial para uso energético, desde que haja melhorias no controle da matéria-prima e do processo produtivo.

Conclusão

Conclui-se que o carvão vegetal de briquete analisado apresenta viabilidade para uso energético, destacando-se pelo elevado teor de carbono fixo (69,86%) e pelo alto poder calorífico superior estimado (7.915,43 kcal/kg), apresentando também um teor médio de materiais voláteis (20,06%). Embora os valores de umidade (11,77%) e, principalmente, de cinzas (10,08%) indiquem limitações à eficiência da combustão, os resultados evidenciam um potencial energético relevante, que pode ser aprimorado por meio de melhorias no processo produtivo e na seleção da matéria-prima, reforçando a possibilidade de utilização do briquete como biocombustível sólido para o aproveitamento energético da biomassa.

Referências

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. p. 24-42, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas**. São Paulo: ABTCP, 1974.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais, Anais... São Paulo, p. 101-137. 1982.

CHAVES, A. et al. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

DA SILVA, Renata Carvalho et al. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

ECOMAIS Briquetes de Carvão**. Sobre a Ecomais.** Disponível em: https://carvaoecomais.com.br/sobre. Acesso em: 14 jan. 2026.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2023. São Paulo: IBÁ, 2023. 93p. Disponível em: https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf. Acesso em: 21 nov. 2023.

INTERAMINENSE, P. P. B. **Influência da taxa de aquecimento na produção do carvão da madeira de** Eucalyptus spp. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

PAES, Juarez Benigno et al. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 3, n. 1, p. 10.12953/2177-6830. v03n01a01, 2012.

PROTÁSIO, T. P. et al. Avaliação energética do carvão vegetal de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* sp**. Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 67–75, 2013.

PROTÁSIO, T. P. et al. **Qualidade do carvão vegetal para uso energético**. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 2, p. 89–100, 2014.

RIBEIRO, P.G.; VALE A.T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência; 2006; Florianópolis. Belém: Universidade Federal do Paraná; 2006.

RODRIGUES, T.; BARCELLOS, D. C.; JUNIOR, A. Braghini. State of the art on development and improvement of slow carbonization kilns for charcoal production. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, p. 106-257, 2023.

ROUSSET, P. et al. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 92, n. 10, p. 1890-1897, 2011.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 57 f. Dissertação. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, R. C. S. et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/ guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal,** v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Resolução n°10 SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo: 2003.

SATER, Osmir et al. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 717-722, 2011.

SOUZA, Natalia Dias de et al. Estudo de caso de uma planta de carbonização: avaliação de características e qualidade do carvão vegetal visando uso siderúrgico. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 270-277, 2016.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência de características da madeira na qualidade do carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 113–124, 2001.

TRUGILHO, P. F. et al. Correlação entre características da madeira e do carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 785–793, 2005.