

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA DE UM CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO EM PEÇANHA, MG

Bruna Flávia Xavier Sousa¹, Jefferson Martins da Silva¹, Lucimeiri Alves Nascimento¹, Eliene Moraes Afonso¹, Ricardo Gomes de Oliveira¹, Caroline Junqueira Sartori¹,

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), Av. Primeiro de Junho, 1043 - Centro, São João Evangelista - MG, 39705-000, Brasil, brunaxavierengflorestal@gmail.com, jeffersonmartins09876@gmail.com, lucimeire.a.nascimento@gmail.com, elyenemoraes28@gmail.com, ricardo.gomes@ifmg.edu.br, caroline.sartori@ifmg.edu.br.

Resumo

O Brasil é o maior produtor mundial de carvão vegetal, sendo o estado de Minas Gerais o estado de maior produtividade. O objetivo deste trabalho foi a realização da análise química imediata do carvão vegetal. Foram obtidos cerca de 500 gramas de carvão vegetal de dois fornos, provenientes de um produtor com plantios e fornos no município de Peçanha, MG, oriundo de madeira de brotação de *Eucalyptus* sp de cinco anos, e o sistema utilizado para a carbonização são fornos do tipo de encosta. Para as análises, os carvões foram moídos em moinho Wiley, e passados em peneiras de 40 e 60 mesh, e utilizado o material retido na peneira de 60 mesh. Foi determinada a umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e por diferença, o teor de carbono fixo. Foi feita análise estatística e teste F de comparação de médias a 5% de significância, de modo a verificar diferença entre os fornos de carbonização. O carvão vegetal, apresenta umidade média de 6,07%, 14,63% de materiais voláteis, 1,23% de cinzas e 78,08% de carbono fixo. Foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os fornos de carbonização, mostrando a variabilidade no sistema de produção.

Palavras-chave: Teor de carbono fixo. Teor de cinzas. Teor de Voláteis.

Área do Conhecimento: Engenharia Florestal
Introdução

Com a pegada de fontes limpas de energia, o carvão vegetal tem se tornado mais usual como substituto parcial de fontes de energias não renováveis, como o carvão mineral, pois o mesmo apenas libera o carbono que foi capturado da atmosfera. No cotidiano o carvão vegetal é utilizado principalmente para abastecimento da siderurgia atuando como redutor bioenergético para a formação de ferro gusa, mas também usado em aquecedores, lareira, churrasqueiras e fogões a lenha (IBÁ, 2017).

A produção de carvão vegetal nacional posiciona o Brasil como principal produtor no mundo, sendo importante matéria-prima para as demais cadeias. O insumo, originado de árvores cultivadas, substitui aqueles de origem fóssil, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) na siderurgia, por exemplo. Desta maneira, o setor reforça compromisso ambiental e beneficia outras indústrias, visto que o setor de árvores cultivadas tem participação elevada em 94% da produção de carvão vegetal (IBÁ, 2022).

Um problema relacionado à utilização do carvão vegetal é sua alta variabilidade em qualidade, uma vez que esse produto sofre grande influência da madeira que lhe deu origem e do sistema de produção. Essa variabilidade ocasiona grande desperdício do material, pois dificulta a operação dos alto fornos siderúrgicos (FREDERICO, 2009).

A análise imediata do carvão vegetal fornece informações da qualidade da biomassa para fins energéticos. Essencialmente, a análise implica determinar os teores de umidade, de cinzas, materiais voláteis e de carbono fixo. Essas características são importantes para entender como o carvão reagirá no processo de queima para geração de energia (GADELHA, 2014). O carbono fixo corresponde à quantidade de carbono presente no carvão vegetal e está relacionado com o poder

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

calorífico, sendo uma das características químicas de maior influência na sua utilização (BRITO, 1993)

Este trabalho teve como objetivo realizar uma caracterização química imediata do carvão vegetal produzido por um produtor rural no município de Peçanha em Minas Gerais.

Metodologia

Para a realização deste trabalho, foram obtidos cerca de 500 gramas de carvão vegetal de dois fornos diferentes, proveniente de um produtor com plantios e fornos no município de Peçanha, Minas Gerais, sudeste do Brasil (Latitude: 18°32'46" Sul; Longitude: 42°45'35" Oeste). O produtor utiliza madeira de brotação de *Eucalyptus* sp de cinco anos, e o sistema utilizado para a carbonização são fornos do tipo de encosta.

Para as análises químicas imediatas, de umidade, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e cinzas as amostras foram moídas em moinho Wiley, e passadas em peneiras de 40 e 60 mesh, e utilizadas as amostras retidas na peneira de 60 mesh.

Para a determinação da umidade dos carvões, foram utilizados cerca de 1,0 g do carvão, pesados em balança de precisão de 0,0001g, em cadinhos de porcelana previamente secos e tarados. Os cadinhos com carvão foram levados à estufa regulada a 102 ± 3 °C, por um período de 2 horas. Logo após, foram retirados da estufa e armazenados em dessecador por cerca de 20 minutos para esfriar, e pesados (Mf) para a determinação da umidade em base úmida (Ubu).

Para a determinação dos materiais voláteis, foram utilizados o material particulado e seco na determinação da umidade. Foram levados a mufla previamente aquecida e estabilizada a 950 °C. Primeiramente os cadinhos, tampados, foram colocados na extremidade externa da mufla sobre a porta, por dois minutos.

Depois estes foram colocados na entrada da mufla ainda com a porta aberta por mais três minutos, para que os mesmos passem por um pré-aquecimento. Feito isso, estes foram colocados no interior da mufla por seis minutos, com a porta fechada. Após esse período os cadinhos tampados foram retirados da mufla, e estes foram levados ao dessecador por aproximadamente 30 minutos para esfriar a temperatura ambiente. Depois de esfriados, os materiais foram pesados, obtendo-se então a massa de material seco sem a presença de materiais voláteis (Mms). O teor de materiais voláteis do carvão vegetal foi calculado pela Equação 1.

$$TMV = \frac{(Mf - Mms)}{Mf} * 100 \quad Eq. 1$$

TMV: teor de materiais voláteis em %;

Mf: massa da amostra seca em estufa (g); e

Mms: massa após o tratamento a 950°C (g).

Para a determinação do teor de cinzas, o material da análise anterior foi levado novamente a mufla para incineração total à temperatura de 750°C por 6 horas, sem a tampa do cadinho. Terminada a incineração, foram armazenados em dessecador por aproximadamente 30 minutos para posterior pesagem e obtenção da massa residual inorgânica (Mr). O teor de cinzas do carvão vegetal foi calculado pela Equação a seguir:

$$TCz = \frac{Mr}{Mf} * 100 \quad Eq. 2$$

TCz: teor de cinzas em %;

Mf: massa da amostra seca em estufa (g); e

Mr: massa do resíduo após a incineração da matéria orgânica

A determinação do teor de carbono fixo (TCF) é uma medida indireta, obtida através do cálculo da Equação a seguir, utilizando os parâmetros previamente determinados.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

$$TCF = 100 - (Ubs + TMV + TCz) \%$$

Foi feita análise estatística e teste F de comparação de médias a 5% de significância, com emprego do software SISVAR (FERREIRA, 2011), de modo a verificar diferença entre os fornos de carbonização.

Resultados

Os valores médios e seus respectivos desvios padrão para umidade em base úmida, teor de matérias voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios e seus respectivos desvios padrão

	Ubu	TMV	TCz	TCF
Forno 1	5,93 (0,06)	14,92 (0,21)	1,3 (0,05)	77,85 (0,17)
Forno 2	6,20 (0,11)	14,33 (0,32)	1,16 (0,03)	78,31 (0,39)

Conforme Tabela 1, verifica-se que as umidades do carvão vegetal foram de 5,93 e 6,20% nos fornos 1 e 2 respectivamente, o que corresponde a uma umidade média de 6,07%. Os teores de materiais voláteis verificados neste estudo foram de 14,92 e de 14,33% respectivamente, o que confere um valor médio de 14,63%. Os teores de cinzas verificados neste estudo foram de 1,3 e 1,16%, o que confere valor médio de 1,23%. Já os teores de carbono fixo verificados neste estudo foram de 77,85 e 78,31%, ou seja, um valor médio de 78,08%. Foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os fornos de carbonização.

Discussão

O carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para o uso doméstico, deve reunir algumas características como: alta densidade relativa aparente; alto teor de carbono fixo; alto poder calorífico; baixa umidade; baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO; VALE, 2006).

O carvão vegetal analisado neste estudo atende às especificações estabelecidas pela norma PMQ 3 - 03 (São Paulo, 2003) para o uso siderúrgico e doméstico, pois verificou-se teores de carbono fixo superiores a 75% e os teores de cinzas foram inferiores a 1,5%. 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 (BRITO; BARRICHELLO, 1982). Quanto maior o teor de carbono fixo maior será o poder calorífico superior do carvão vegetal, uma vez que a entalpia associada ao carbono é que determina o valor calórico dos combustíveis submetidos à pirólise (PROTÁSIO *et al.*, 2012).

A estrutura do carvão vegetal pode ser afetada pelo teor de materiais voláteis, pois o tamanho dos poros, a porosidade, a densidade e outras propriedades físicas do carvão mudam durante o processo de eliminação dos materiais voláteis (GUEDES *et al.*, 2010). Apesar do material volátil também possuir carbono, a sua fração no carvão vegetal é inferior ao carbono fixo. Além disso, o carbono fixo representa a fração do carvão que queima no estado sólido e promove um aumento da estabilidade e resistência térmica do combustível. Logo, visando à maior durabilidade da combustão nas caldeiras e fornalhas dos combustíveis utilizados como fonte de bioenergia, deve-se priorizar aqueles com maiores quantidades de carbono fixo e menores de materiais voláteis (NOGUEIRA; LORA, 2003; BRAND, 2010).

O carvão com baixo teor de cinzas podem conferir boas características energéticas já com alto teor de cinzas pode impactar negativamente produtos metalúrgicos (SANTOS, 2008). As cinzas correspondem à fração mineral, não sofrem o processo de combustão e, conseqüentemente, diminuem o valor calórico, ou seja, diminuem o poder calorífico do combustível (Brand, 2010). Além disso, aumentam a corrosão dos equipamentos utilizados na conversão energética, principalmente em sistemas termoquímicos (TAN; LAGERKVIST, 2011). O alto teor de cinzas no carvão vegetal pode provocar o acúmulo de impurezas no centro das peças do metal solidificado, promovendo variações nas propriedades do ferro-gusa (NEVES *et al.*, 2011; ASSIS *et al.*, 2012).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Geralmente, o carvão vegetal de clones ou espécies de *Eucalyptus* possuem teor de cinzas inferior a 1% (NEVES *et al.*, 2011; ASSIS *et al.*, 2012), assemelhando-se ao observado nesse trabalho.

Figueiró *et al.*, 2020, analisaram carvões vegetais provenientes de um clone, híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, aos 7 anos de idade, proveniente de plantios comerciais no espaçamento 3 x 3 m, que foram submetidos a dois tipos de manejo silvicultural, replantio e talhadia. Os resultados mostraram que a madeira do sistema de talhadia apresenta menor Incremento Médio Anual e maior relação cerne/alburno, produzindo um carvão mais friável e com menor produtividade em relação ao sistema de replantio. Comparativamente, os resultados econômicos do sistema de talhadia foram ligeiramente melhores, apresentando menor vulnerabilidade na análise de sensibilidade quanto às flutuações no preço do carvão vegetal. A opção pela talhadia pode ser interessante para o produtor devido ao menor dispêndio financeiro e resultados econômicos satisfatórios, porém com menor qualidade do produto. Os valores verificados neste estudo para os carvões provenientes de replantio e talhadia foram de 26,33 e 26,57% de materiais voláteis, 0,35 e 0,32% de cinzas e 73,32 e 73,11% de carbono fixo respectivamente. Os autores também não verificaram influência do material no rendimento gravimétrico da carbonização, porém menor IMA foi verificado no material proveniente do processo de talhadia, bem como uma maior friabilidade foi verificada neste material.

Segundo Trugilho *et al.*, 2001 visando à produção de carvão vegetal que atenda o uso siderúrgico, pode-se aumentar a temperatura final de carbonização e, conseqüentemente, obter um biocombustível de maior valor calórico e com maior densidade relativa aparente, fixando-se mais carbono, uma vez que esse parâmetro de produção exerce grande influência nas características e/ou propriedades do carvão. Porém, existe uma grande quantidade de produtores independentes, os quais produzem carvão vegetal em fornos de alvenaria, em que o controle da carbonização é realizado de forma empírica, ou seja, acompanhando a coloração das fumaças produzidas. Desta maneira, o treinamento e a prática dos carvoeiros são imprescindíveis para garantir uma maior qualidade do produto final. Quanto maior o teor de carbono fixo maior será o poder calorífico superior do carvão vegetal, uma vez que a entalpia associada ao carbono é que determina o valor calórico dos combustíveis submetidos à pirólise (PROTÁSIO *et al.*, 2012).

Conclusão

O carvão vegetal, produzido em Peçanha, MG, apresenta uma umidade média de 6,07%, 14,63% de materiais voláteis, 1,23% de cinzas e 78,08% de carbono fixo. Foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os fornos de carbonização, mostrando a variabilidade no sistema de produção.

Referências

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, T. P.; ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimentos do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 71, p. 291-302, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.71.291

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRITO, J. O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico**. Piracicaba: IPEF, 1993. 6p. (Circular Técnica, 181).

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Carvão vegetal de madeira de desbaste de Pinus**. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, v. 146, p. 1-12, jun. 1982.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

FIGUEIRÓ, C. G.; CARNEIRO, A. C. O.; FIALHO, L. F. RIBEIRO, G. B. D.; PERES, L. C.; CANDIDO, W. L.; ARAÚJO, M. A. R. Technical and economic viability of *Eucalyptus* sp. coppice for charcoal production. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** ISSN (on line) 1981-0997v.15, n.4, e8407, 2020.

FREDERICO, P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 73p.

GADELHA, F. H. L. Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos. **Carpina**: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.

GUEDES, C. I. b.; ADÃO, D. C.; QUESSADA, T. P.; BORSATO, D.; GALÃO, O. F.; DI MAURO, E.; PÉREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, v. 33, p. 781-786, 2010.

IBÁ [Indústria Brasileira de Árvores] **Histórico do Desempenho do Setor, 2016**. Disponível em :< <http://iba.org/pt/biblioteca-iba/historico-dodesempenho-do-setor> >. Acesso em junho/2023.

IBÁ [Indústria Brasileira de Árvores] **Histórico do Desempenho do Setor, 2022**. Disponível em :< <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf> >. Acesso em julho/2023.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319–330, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.68.319

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E. R. S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p.1252-1258, 2012.

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

SANTOS, A. L. S. **Integração de comunidades rurais com recursos vegetais: o caso dos remanescentes de floresta estacional do município de Junqueiro (AL-Brasil)**. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Resolução SAA - 10, de 11-7-2003. Norma de padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal, como base para certificação de produtos pelo Sistema de Qualidade de Produtos Agrícolas, Pecuários e Agroindustriais do Estado de São Paulo, instituído pela Lei 10.481-9. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, v. 113, n. 129, jul. 2003.

TAN, Z.; LAGERLIVIST, A. Phosphorous recovery from the biomass ash: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 8, p. 3588-3602, 2011.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **CERNE**, vol. 7, núm. 2, 2001, pp. 104-114