



## **Efeito da temperatura de pirólise sobre a estabilidade de biocarvão preparado a partir do bagaço de cana-de-açúcar**

Nathalia Eugênia Silva<sup>1</sup>

Osania Emerenciano Ferreira<sup>2</sup>

Alan Rodrigues Teixeira Machado<sup>3</sup>

### **Tecnologia Ambiental**

#### ***Resumo***

O biocarvão é uma tecnologia promissora para o sequestro de carbono no solo, sendo importante para o combate às mudanças climáticas e seus impactos. Portanto, compreender a estabilidade do biocarvão é fundamental para o sucesso de sua utilização. Por isso, o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito da temperatura de pirólise na estabilidade do biocarvão obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar. Foram preparadas amostras pirolisadas nas temperaturas de 300 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C. Os teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF) foram utilizados para calcular o indicador de estabilidade (MV/CF). Além disso, as curvas termogravimétricas das amostras foram obtidas. De modo geral, os resultados mostraram que, com o aumento da temperatura, diminuiu o valor da razão MV/CF. No entanto, não foram observadas diferenças significativas para as amostras pirolisadas na faixa de temperatura de 400 a 1000 °C.

**Palavras-chave:** sequestro de carbono, biochar, biomassa.

---

<sup>1</sup>Mestranda em Ciências Ambientais – PPGCIAMB, Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, [nathalia.1095854@discente.uemg.br](mailto:nathalia.1095854@discente.uemg.br)

<sup>2</sup>Profª. Drª. Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Acadêmica de Frutal - Uemg, [osania.ferreira@uemg.br](mailto:osania.ferreira@uemg.br)

<sup>3</sup>Prof. Dr. Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Acadêmica de João Monlevade - Uemg, [alan.machado@uemg.br](mailto:alan.machado@uemg.br)



## INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com estimativa de colheita de 598 milhões de toneladas na safra de 2022/2023 (CONAB, 2022). A maioria desta quantidade é para a produção de açúcar e etanol. Isso também resulta na geração de subprodutos e resíduos, por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar (BCA). Estima-se que, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, sejam produzidos entre 260 e 280 kg de BCA (JOPPERT et al., 2017).

O BCA é usado para produzir calor e gerar energia elétrica (XU et al., 2019; DOMBINOV et al., 2022). Contudo, há um excedente que poderia ser aplicado como insumo para a elaboração de produtos de alto valor agregado (SEIXAS et al., 2016; MARTINEZ-HERNANDEZ et al., 2018), como o biocarvão (IWUOZOR et al., 2022), furfural (CATRINCK et al., 2020), bio-óleo (FARDHYANTI et al., 2022) e celulose (MAHMUD & ANANNYA, 2021).

O biocarvão é um material carbonáceo obtido a partir da pirólise da biomassa na ausência ou em condições limitadas de oxigênio (SRI SHALINI et al., 2020). Ele possui grande porosidade, o que o torna capaz de adsorver e reter nutrientes, melhorando, assim, os parâmetros de fertilidade do solo (MAROUŠEK et al., 2016). A sua aplicação como condicionador de solo é uma das principais tecnologias para mitigação de gases de efeito estufa. De fato, o uso do biocarvão, aumenta o estoque de carbono no solo, uma vez que esse material tem alto teor de carbono recalcitrante, o que resulta em um material mais estável e resistente ao ataque microbiano.

A estabilidade do carbono do biocarvão é elevada em comparação com outras fontes de C, o que se deve à sua resistência à decomposição biótica e abiótica (ZHANG et al., 2022). No entanto, essa estabilidade é dependente das condições de pirólise e da matéria-prima. Em geral, o teor de C do biocarvão aumenta à medida que a temperatura de pirólise aumenta (BABU et al., 2023). Contudo, ainda há poucas informações sobre o efeito da temperatura nas propriedades físico-químicas do biocarvão feito do BCA (IWUOZOR et al., 2022). Essa lacuna de conhecimento deve ser explorada para melhor aproveitamento desse material.

### Realização





Diante do exposto, esse trabalho tem por objetivo produzir e caracterizar o biocarvão a partir do BCA, bem como avaliar o efeito da temperatura de pirólise sobre a sua estabilidade.

## METODOLOGIA

O BCA foi coletado em uma cachaçaria localizada no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. O bagaço foi colocado para secar à temperatura ambiente. Em seguida, o produto foi pulverizado num Triturador Forrageiro e passado por uma peneira com abertura de 3 mm.

A produção do biocarvão foi realizada seguindo a metodologia proposta por Albalasmeh et al. (2020). Para tanto, a pirólise foi realizada em forno tipo mufla (em triplicata) com cadinhos contendo o BCA e tampados para limitar a presença de oxigênio, em temperaturas de 300, 400, 600, 800 e 1000 °C, por 90 min. As amostras obtidas foram codificadas como BBM300, BBM400, BBM600, BBM800 e BBM1000, respectivamente.

A composição química imediata foi obtida conforme procedimentos descritos por Figueiredo et al. (2018), para determinação do indicador de estabilidade do biocarvão no solo por meio da razão entre os teores de materiais voláteis (MV) e carbono fixo (CF). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade usando o programa Sisvar (FERREIRA, 2019).

Para completar a caracterização das amostras de biocarvão a estabilidade térmica das amostras foi avaliada em analisador termogravimétrico (STA 7300, Hitachi). As análises foram realizadas entre 25 a 1000 °C, a 10 °C min<sup>-1</sup>, sob atmosfera de nitrogênio e amostras com massas de, aproximadamente, 10 mg.

### Realização



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A razão entre os teores de materiais voláteis/carbono fixo (MV/CF) tem sido usada como indicador da estabilidade do biocarvão em solos. É amplamente reconhecido que biocarvão com uma razão MV/CF entre 0,5 e 1,0 apresenta uma elevada estabilidade em solos (NOVAK & BUSSCHER, 2013; BAKSHI et al., 2016; NGUYEN et al., 2018; ZHANG et al., 2022). Neste trabalho, observou-se que esse indicador é influenciado pela temperatura de pirólise (Tabela 1). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas entre as amostras preparadas nas temperaturas de 400 °C, 600 °C, 800 °C e 1000 °C. Além disso, com exceção do biocarvão preparado a 300 °C, que apresentou MV/CF superior a 1,0, as outras amostras podem ter períodos de residência longos e serem adequadas para o sequestro de carbono (NGUYEN et al., 2018).

Tabela 1. Relação entre as razões de materiais voláteis/carbono fixo (MV/CF) para biocarvões preparados a partir do bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes temperaturas de pirólise.

Amostra	MV/CF*
BCA	4,48 c
BBM300	1,50 b
BBM400	0,57 a
BBM600	0,38 a
BBM800	0,34 a
BBM1000	0,41 a

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Conforme apresentado acima, é evidente que existem diferenças estruturais e na composição das amostras de biocarvão. Isso porque durante o processo de pirólise, a biomassa lignocelulósica (como o BCA) é decomposta por meio de aquecimento, geralmente em quatro etapas. O primeiro estágio ocorre até 150 °C e se caracteriza pela perda de água adsorvida. No segundo estágio, que varia entre 230 °C e 260 °C, há a

Realização



decomposição da hemicelulose e a liberação de gases (e.g CO e CO<sub>2</sub>) e líquidos (e.g. CH<sub>3</sub>COOH e CH<sub>3</sub>OH). Na faixa de temperatura entre 240 °C e 400 °C, há uma significativa perda de massa que decorre da decomposição da celulose e do início da degradação da lignina. No quarto estágio, a lignina presente decompõe-se em temperaturas superiores a 400 °C. De fato, como é possível observar na curva de decomposição térmica do BCA (Figura 1), houve uma desidratação da biomassa, resultando numa perda de massa de aproximadamente 7%. No entanto, não ficou claro o limite entre o segundo e terceiro estágio, sendo registrada redução da massa de aproximadamente 68 % até 400 °C, indicando a decomposição da hemicelulose e da celulose. Além disso, a curva revela perda de massa de cerca de 14% entre 400 °C e 600 °C, sugerindo a degradação total da lignina.

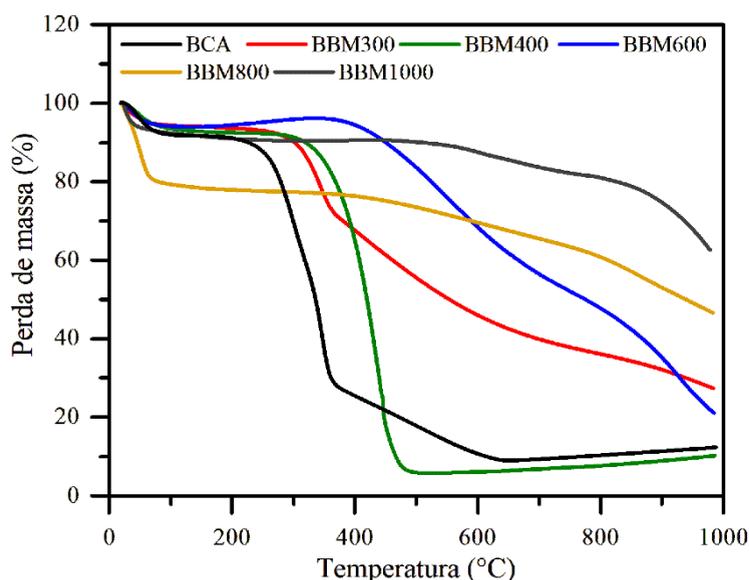


Figura 1. Curvas termogravimétricas para o bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e amostras de biocarvão preparadas a partir dessa biomassa na temperatura de pirólise de 300 °C (BBM300), 400 °C (BBM400), 600 °C (BBM600), 800 °C (BBM800) e 1000 °C (BBM1000).

A estabilidade do biocarvão também pode ser explorada por meio do estudo da perda de massa, devido a eventos térmicos que ocorrem em temperaturas abaixo de 400 °C. Essa perda é atribuída a compostos orgânicos menos recalcitrantes, enquanto a perdas



de massas acima deste valor são atribuídas aos compostos mais recalcitrantes. De fato, as curvas termogravimétricas das amostras de biocarvão mostraram que esses materiais são mais estáveis que o BCA (Figura 1). Outra observação importante foi o aumento da estabilidade das amostras de biocarvão com o aumento da temperatura de pirólise (Figura 1).

## CONCLUSÕES

As propriedades do biocarvão são influenciadas pela temperatura de pirólise. No entanto, neste estudo, não foram observadas diferenças significativas no indicador de estabilidade (MV/CF) do biocarvão no solo para amostras pirolisadas na faixa de temperatura entre 400 e 1000 °C.

## AGRADECIMENTOS

À Fapemig, edital 01/2021 (APQ-02349-21) e à Uemg pelo apoio “Pesquisador Produtividade da UEMG – PQ/UEMG”.

## REFERÊNCIAS

ALBALASMEH, A.; GHARAIBEH, M. A.; MOHAWESH, O.; ALAJLOUNI, M.; QUZAIH, M.; MASAD, M.; EL HANANDEH, A. Characterization and Artificial Neural Networks Modelling of methylene blue adsorption of biochar derived from agricultural residues: Effect of biomass type, pyrolysis temperature, particle size. **Journal of Saudi Chemical Society**, vol. 24, no. 11, p. 811–823, Nov. 2020.

BABU, S.; SINGH, R.; KUMAR, S.; RATHORE, S. S.; YADAV, D.; YADAV, S. K.; YADAV, V.; ANSARI, M. A.; DAS, A.; RAJANNA, G. A.; WANI, O. A.; RAJ, R.; YADAV, D. K.; SINGH, V. K. Biochar implications in cleaner agricultural production and environmental sustainability. **Environmental Science: Advances**, 2023.

BAKSHI, S.; ALLER, D. M.; LAIRD, D. A.; CHINTALA, R. Comparison of the Physical and Chemical Properties of Laboratory and Field-Aged Biochars. **Journal of Environmental Quality**, vol. 45, no. 5, p. 1627–1634, Sep. 2016.

CATRINCK, M. N.; BARBOSA, P. S.; FILHO, H. R. O.; MONTEIRO, R. S.; BARBOSA, M. H. P.; RIBAS, R. M.; TEÓFILO, R. F. One-step process to produce furfural from sugarcane bagasse

Realização



over niobium-based solid acid catalysts in a water medium. **Fuel Processing Technology**, vol. 207, p. 106482, Oct. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4874-producao-de-cana-de-acucar-cresce-4-4-e-pode-chegar-a-598-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2022.

DOMBINOV, V.; HERZEL, H.; MEILLER, M.; MÜLLER, F.; WILLBOLD, S.; ZANG, J. W.; DA FONSECA-ZANG, W. A.; ADAM, C.; KLOSE, H.; POORTER, H.; JABLONOWSKI, N. D.; SCHREY, S. D. Sugarcane bagasse ash as fertilizer for soybeans: Effects of added residues on ash composition, mineralogy, phosphorus extractability and plant availability. **Frontiers in Plant Science**, vol. 13, 8 Dec. 2022.

FARDHYANTI, D. S.; MEGAWATI; CHAFIDZ, A.; PRASETIAWAN, H.; RAHARJO, P. T.; HABIBAH, U.; ABASAEED, A. E. Production of bio-oil from sugarcane bagasse by fast pyrolysis and removal of phenolic compounds. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 23 Mar. 2022. DOI 10.1007/s13399-022-02527-9. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s13399-022-02527-9>.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, vol. 37, no. 4, p. 529–535, 20 Dec. 2019.

FIGUEIREDO, M. E. O.; JÚNIOR, D. L.; PEREIRA, A. K. S.; CARNEIRO, A. de C. O.; SILVA, C. M. S. da. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, vol. 28, no. 1, p. 420–431, 2 Apr. 2018.

IWUOZOR, K. O.; CHIZITERE EMENIKE, E.; IGHALO, J. O.; OMOARUKHE, F. O.; OMUKU, P. E.; GEORGE ADENIYI, A. A Review on the thermochemical conversion of sugarcane bagasse into biochar. **Cleaner Materials**, vol. 6, p. 100162, Dec. 2022.

JOPPERT, C. L.; DOS SANTOS, M. M.; COSTA, H. K. M.; DOS SANTOS, E. M.; SIMÕES MOREIRA, J. R. Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants. **Biomass and Bioenergy**, vol. 107, p. 63–73, Dec. 2017.

MAHMUD, Md. A.; ANANNYA, F. R. Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for diverse applications. **Heliyon**, vol. 7, no. 8, p. e07771, Aug. 2021.

MAROUŠEK, J.; VOCHOZKA, M.; PLACHÝ, J.; ŽÁK, J. Glory and misery of biochar. **Clean Technologies and Environmental Policy**, vol. 19, no. 2, p. 311–317, 28 Sep. 2016.

MARTINEZ-HERNANDEZ, E.; AMEZCUA-ALLIERI, M. A.; SADHUKHAN, J.; ANELL, J. A. Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production. **Sugarcane - Technology and Research**, 16 May 2018.

NGUYEN, L. X.; DO, P. T. M.; NGUYEN, C. H.; KOSE, R.; OKAYAMA, T.; PHAM, T. N.; NGUYEN, P. D.; MIYANISHI, T. Properties of Biochars Prepared from Local Biomass in the Mekong Delta, Vietnam. **BioResources**, vol. 13, no. 4, 13 Aug. 2018.

Realização





NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J. Selection and Use of Designer Biochars to Improve Characteristics of Southeastern USA Coastal Plain Degraded Soils. **Advanced Biofuels and Bioproducts**, New York, NY, p. 69–96, 7 Jun. 2012.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Treatment of vinasse by adsorption on carbon from sugar cane bagasse. **Química Nova**, 2016.

SRI SHALINI S.; PALANIVELU K.; RAMACHANDRAN A.; RAGHAVAN, V. Biochar from biomass waste as a renewable carbon material for climate change mitigation in reducing greenhouse gas emissions—a review. **Biomass Conversion and Biorefinery**, vol. 11, no. 5, p. 2247–2267, 30 Jan. 2020.

XU, Q.; JI, T.; GAO, S.-J.; YANG, Z.; WU, N. Characteristics and Applications of Sugar Cane Bagasse Ash Waste in Cementitious Materials. **Materials**, vol. 12, no. 1, p. 39, 22 Dec. 2018.

ZHANG, X.; YANG, X.; YUAN, X.; TIAN, S.; WANG, X.; ZHANG, H.; HAN, L. Effect of pyrolysis temperature on composition, carbon fraction and abiotic stability of straw biochars: correlation and quantitative analysis. **Carbon Research**, vol. 1, no. 1, 29 Aug. 2022.

Realização