EFEITO DE DOSES DE BIOCARVÃO DE CASCA DE CAFÉ NO PH DO SOLO SOB DUAS TENSÕES DE ÁGUA NO CULTIVO DE MILHO

Autores: Chansislayne Gabriela da Silva[1], Ezequiel da Silva Campos[1], Gabriel Vieira Cordeiro[1], Maria Olívia Ferreira da Conceição Gomes[1], Murilo Souza Pires[1], Leticia Camilato de Paula, João Marcelo da Silva Pereira, Renato Ribeiro Passos[1],

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias/Departamento de Agronomia, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, Brasil, chansislayne_silva@outlook.com, jmdasilva1105dsl@gmail.com, renatoribeiropassos@gmail.com.

Resumo
O biocarvão apresenta potencial como condicionador do solo, podendo promover alterações em seus atributos químicos. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de biocarvão de casca de café sobre o pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, submetido a diferentes tensões de água durante o cultivo do milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4 × 2, constituído pelas doses de 0; 2,5; 5,0 e 7,5 t ha^{-1} de biocarvão e pelas tensões de −10 e −30 kPa, com quatro repetições. O pH do solo apresentou resposta linear crescente às doses de biocarvão em ambas as condições hídricas. Não foram observados efeitos significativos das tensões de água sobre o pH. Os resultados demonstram que o biocarvão de casca de café apresenta efeito alcalinizante e potencial para o manejo da acidez do solo, independentemente das condições hídricas avaliadas.

Palavras-chave: Biochar. Condicionador do solo. Acidez do solo. Resíduos agrícolas.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias e Agronomia

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é uma cultura de grande importância econômica e social, amplamente cultivada no Brasil com produção de 24.935,8 em mil toneladas em 2025 (CONAB, 2026). O desenvolvimento e a produtividade da cultura estão diretamente relacionados às condições edafoclimáticas, especialmente à disponibilidade de água e às características químicas do solo, que podem influenciar a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas (Taiz *et al*., 2017).

Entre os atributos químicos do solo, o pH exerce papel fundamental na disponibilidade de nutrientes e nas reações que ocorrem na solução e no complexo de troca (Chirchir *et al*., 2026). Paralelamente, a disponibilidade hídrica interfere nos processos químicos e biológicos do solo e no desenvolvimento do milho, tornando relevante compreender como diferentes condições de umidade podem influenciar a resposta do sistema solo-planta às práticas de manejo (Khan, 2025; Zhang *et al*., 2023).

Nesse contexto, o uso de biocarvão tem despertado interesse como alternativa para o condicionamento do solo (Butnan *et al*., 2015). Esse material é obtido pela conversão termoquímica de biomassas em condições de baixa disponibilidade de oxigênio e apresenta características que variam de acordo com a matéria-prima e as condições de pirólise, onde sua aplicação pode promover alterações em atributos químicos do solo, incluindo o pH, a capacidade de troca catiônica e a disponibilidade de nutrientes, sendo esses efeitos relacionados à presença de cinzas, cátions básicos e grupos funcionais em sua superfície (Domingues *et al*., 2020; Xiong *et al*., 2021).

Entretanto, a magnitude dessas alterações pode depender tanto da dose aplicada quanto das condições do solo, incluindo sua disponibilidade hídrica (Feng *et al*., 2021). Dessa forma, a avaliação de doses de biocarvão de casca de café associadas a diferentes tensões de água no solo pode contribuir para a compreensão de seus efeitos sobre a reação do solo durante o cultivo do milho. Assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses crescentes de biocarvão de casca de café sobre o pH de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, submetido às tensões de água de −10 e −30 kPa, utilizando o milho como planta-teste.

Metodologia

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAE-UFES), localizado no município de Alegre, Espírito Santo, Brasil. Foi utilizado um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média (SM), classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

O solo utilizado no experimento foi coletado na área experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) – Campus de Alegre, na profundidade de 20–40 cm. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foi realizada a caracterização química e física do solo, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização química e física * dos solos de ambientes pedológicos diferentes utilizados na montagem do experimento

Atributos	Solo Textura Média (SM)
pH (H2O)	5,63
P (mg kg-1)	1,90
P-rem (mg kg-1)	36,3
K (mg kg-1)	27,90
Na (mg kg-1)	0,10
Ca (cmolc kg-1)	0,96
Mg (cmolc kg-1)	0,54
Al (cmolc kg-1)	0,00
H + Al (cmolc kg-1)	2,71
SB (cmolc kg-1)	1,57
t (cmolc kg-1)	1,57
T (cmolc kg-1)	4,28
V (%)	36,78
m (%)	0,00
M.O (g kg-1)	16,04
Fe (mg kg-1)	60
Cu (mg kg-1)	0,9
Zn (mg kg-1)	1,7
Mn (mg kg-1)	36,4
Areia Total	69,58
Silte	20,08
Argila	10,34

*pH: relação solo-água 1:2,5; P: extrator Mehlich 1 e determinação por colorimetria; Na e K: extrator Mehlich-1 e determinação por fotometria de chama; Ca e Mg: extrator KCl 1 mol/L e determinação por espectrometria de absorção atômica; Al: extrator KCl 1 mol/L e determinação por titulometria; H+Al: extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0 e determinação por titulometria; SB: Soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; (T): capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Índice de saturação de bases; m: Índice de saturação por alumínio; Matéria Orgânica: oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H2SO4); Prem (fósforo remanescente): solução de CaCl2 0,01 mol/L contendo 60 mg/L de P. Fe, Cu, Zn e Mn: extrator Mehlich-1 e determinação por espectrometria de absorção atômica. Silte e argila: Método da pipeta — agitação lenta a 50 rpm por 16 horas, com agitador tipo Wagner; dispersante químico: NaOH 0,1 mol/L e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta (Teixeira et al., 2017).

Fonte: elaborado pelo próprio autor

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 × 2, constituído por quatro doses de biocarvão de casca de café (0; 2,5; 5,0 e 7,5 t ha^{-1}) e duas tensões de água no solo (−10 e −30 kPa), com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

O biocarvão utilizado no experimento foi produzido a partir de casca de café e adquirido da empresa NetZero. A caracterização química do biocarvão, bem como sua capacidade de retenção de água (CRA) e área superficial específica, encontra-se apresentada na Tabela 2 e 3 respectivamente.

Tabela 2 - Caracterização* de biocarvão de casca de café utilizado nos experimentos.

Parâmetros	**Resultados**
C (%)	67,3
H (%)	3,64
O (%)	14,8
CTC (cmolc kg^{-1})	43,8
pH (H_2O)	10,2
P (g kg^{-1})	4,23
K (g kg^{-1})	40,9
Ca (g kg^{-1})	12,3
Mg (g kg^{-1})	3,4
Fe (mg kg^{-1})	2820
Cu (mg kg^{-1})	35,4
Zn (mg kg^{-1})	25,7
CRA 10 cm (% ou v/v)	62,6
Área superficial (m^{-2} g^{-1})	2,9
Cinzas %, m/m	12

*Carbono (C), hidrogênio (H) e nitrogênio (N) foram determinados em analisador elementar PerkinElmer Série II 2400, enquanto o oxigênio (O) foi calculado por diferença. O pH foi determinado em água, e a capacidade de troca catiônica (CTC) foi obtida pelo método acetato de sódio–acetato de amônio a pH 7,0. Os teores de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu e Zn foram determinados após digestão nítrico-perclórica. Capacidade de retenção de água (CRA) sob tensão de 10 cm de coluna de água ou 0,1kPa (10hPa). A área superficial por isotermas de adsorção e dessorção de N2, adquiridas a 77 K em um equipamento JWFB modelo Meso 112. As áreas superficiais especificas foram calculadas utilizando a equação de BET na região de baixa pressão (p/p0=0,200).

Fonte: elaborado pelo próprio autor.

Tabela 3 - Curva de retenção* de água do solo utilizado na montagem do experimento

Potencial mátrico	**Textura Média (SM)**
-10 kPa	0,140
-30 kPa	0,123
-50 kPa	0,113
-300 kPa	0,090
-1500 kPa	0,069

*A curva foi determinada utilizando câmara de pressão de Richards, conforme metodologia padrão para avaliação da retenção hídrica do solo (Teixeira et al., 2017).

Fonte: elaborado pelo próprio autor

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de 5 L, contendo 4 kg de solo. As doses de biocarvão correspondentes a cada tratamento foram incorporadas e homogeneizadas ao solo antes da

implantação do experimento.

O milho foi utilizado como planta-teste. Foram semeadas cinco sementes por vaso e, aos 10 dias após a semeadura, foi realizado o desbaste, mantendo-se as três plantas mais vigorosas em cada vaso. Após o estabelecimento das plantas, foram aplicados os dois regimes hídricos, correspondentes aos potenciais mátricos de −10 e −30 kPa. A umidade do solo nos vasos foi controlada por meio da pesagem, sendo a irrigação realizada de acordo com a necessidade de reposição de água para manutenção dos respectivos potenciais mátricos estabelecidos em cada tratamento.

Aos 45 dias após a semeadura, foram coletadas amostras de solo de cada unidade experimental. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, foi determinado o pH do solo, conforme metodologia descrita por Teixeira *et al*. (2017).

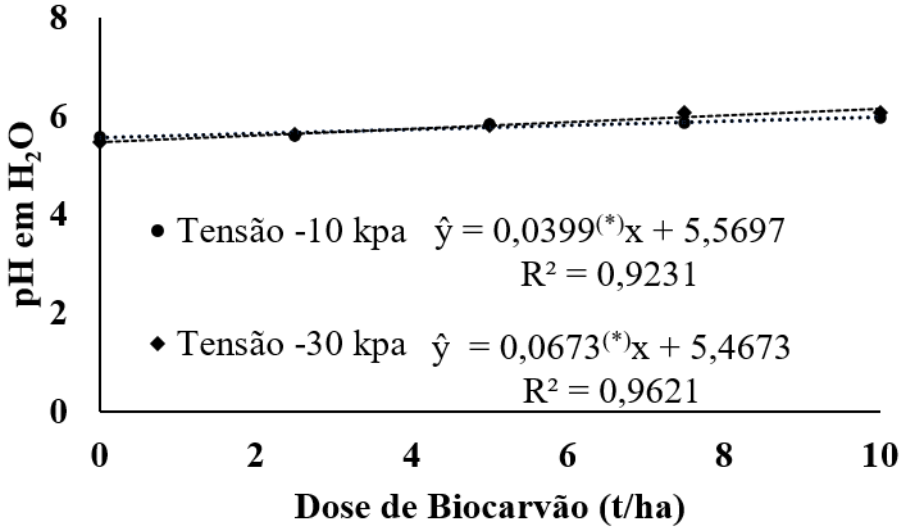
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando os efeitos das doses de biocarvão, das tensões de água no solo e da interação dose × tensão. Para o fator quantitativo dose de biocarvão, foram ajustados modelos de regressão quando constatado efeito significativo, enquanto as tensões de água no solo foram comparadas entre si, adotando-se nível de significância de 5%.

.

Resultados

O pH do solo apresentou aumento linear em resposta às doses crescentes de biocarvão nas duas tensões de água avaliadas (Figura 1). Na tensão de −10 kPa, o pH aumentou de aproximadamente 5,57 na ausência de biocarvão para 5,97 na dose de 10 t ha^{-1}, correspondendo a um incremento de 7,16%. Na tensão de −30 kPa, o pH estimado aumentou de 5,47 para 6,14, representando um incremento de 12,31%.

Figura 1 – ph do solo em função as doses de biocarvão sob duas tensões de irrigação diferentes.



Fonte: O autor (2026).

Os modelos apresentaram elevados coeficientes de determinação (R^2 = 0,9231 e 0,9621, para −10 e −30 kPa, respectivamente), indicando bom ajuste aos dados experimentais. Esses resultados demonstram que o aumento das doses de biocarvão promoveu elevação do pH do solo, sendo esse efeito mais acentuado na tensão de −30 kPa.

Discussão

O aumento do pH observado com a aplicação de biocarvão pode estar associado às características químicas do material, especialmente à sua elevada alcalinidade e ao teor de cinzas (Tabela 2). Essa fração mineral pode fornecer cátions básicos, como K, Ca e Mg, que participam das reações de neutralização da acidez e modificam o equilíbrio químico da solução do solo. Resultados semelhantes

foram observados por Butnan *et al*. (2015) em cultivo de milho, no qual a aplicação de biocarvão promoveu elevação do pH, redução dos teores de Al^{3+} e aumento da disponibilidade de nutrientes, evidenciando sua capacidade de modificar a fertilidade química de solos ácidos.

Além do aporte de cátions básicos, a ação alcalinizante do biocarvão pode estar relacionada à presença de carbonatos, óxidos e hidróxidos em sua fração mineral, compostos que participam diretamente das reações de neutralização da acidez. Paralelamente, sua superfície apresenta grupos funcionais, como carboxílicos, fenólicos e hidroxílicos, capazes de sofrer processos de protonação e desprotonação, alterando as cargas superficiais e as reações de troca no sistema solo–biocarvão (Xiong *et al.,* 2021).

À medida que o pH se eleva, ocorre maior dissociação de grupos funcionais presentes na matéria orgânica e na superfície do biocarvão, favorecendo a formação de cargas negativas dependentes do pH. Esse processo amplia os sítios disponíveis para retenção de cátions e pode modificar a dinâmica das bases trocáveis e da acidez do solo. Dessa forma, a atuação do biocarvão envolve tanto mecanismos de neutralização direta da acidez quanto alterações nas propriedades de superfície e no equilíbrio entre a fase sólida e a solução do solo (Domingues *et al.,* 2020).

Embora a disponibilidade de água possa influenciar a dissolução, a difusão e o transporte de íons no solo, não foram observadas diferenças significativas de pH entre as tensões hídricas avaliadas. Esse comportamento indica que, nas condições deste estudo, as alterações promovidas pelas doses de biocarvão foram mais determinantes para o pH do que as diferenças na disponibilidade de água. Portanto, a resposta observada reforça o potencial do biocarvão de casca de café como condicionador da acidez do solo, mantendo seu efeito nas duas condições hídricas avaliadas.

Conclusão

A aplicação de doses crescentes de biocarvão de casca de café promoveu aumento linear do pH do solo, evidenciando seu potencial como condicionador da acidez. As tensões de água avaliadas (−10 e −30 kPa) não apresentaram efeito significativo sobre o pH do solo, indicando que o efeito do biocarvão sobre esse atributo ocorreu independentemente da condição hídrica utilizada.

Referências

BUTNAN, S.; DEENIK, J. L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M. J.; VITYAKON, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v. 237, p. 105-116, 2015.

CHIRCHIR, J.; DYCK, M.; GORIM, L. Y. Soil pH and nutrient stratification and spatial variability: a review of drivers and agronomic implications. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 106, p. 1-17, 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Milho.** Brasília, DF: Conab, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas/graos/milho>. Acesso em: 2 set. 2026.

DOMINGUES, R. R.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; SPOKAS, K. A.; MELO, L. C. A.; TRUGILHO, P. F.; VALENCIANO, M. N.; SILVA, C. A. Enhancing cation exchange capacity of weathered soils using biochar: feedstock, pyrolysis conditions and addition rate. **Agronomy**, v. 10, p. 1–17, 2020.

FENG, W.; YANG, F.; CEN, R.; LIU, J.; QU, Z.; MIAO, Q.; CHEN, H. Effects of straw biochar application on soil temperature, available nitrogen and growth of corn. **Journal of environmental management**, v. 277, p. 1-11, 2021.

KHAN, M. S. Efeitos da disponibilidade de água, temperatura e pH do solo no crescimento das plantas e no desempenho fisiológico. **Ecobiótica: Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 1, n. 1, p. 9-17, 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo,** 3rd ed.; Embrapa: Brasília, 2017.

XIONG, J.; XU, J.; ZHOU, M.; ZHAO, W.; CHEN, C.; WANG, M.; TAN, W.; KOOPAL, L.Quantitative characterization of the site density and the charged state of functional groups on biochar. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering,** v. 9, p. 2600–2608, 2021.

Zhang, J.; Feng, Y.; Maestre, F. T.; Berdugo, M.; Wang, J.; Coleine, C.; Delgado-Baquerizo, M. Water availability creates global thresholds in multidimensional soil biodiversity and functions. **Nature Ecology & Evolution**, v. 7, n. 7, p. 1002-1011, 2023.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).