pH DO SOLO E O CULTIVO DE MILHO SUBMETIDO À APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO

Hysabella Da Silva Dascani, Layza de Oliveira Moraes, Willian Barbosa Gomes, João Marcelo da Silva Pereira, Renildo Pereira da Silva Filho, Lorena Contarini Machado, Renato Ribeiro Passos

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Agronomia, Alto Universitário, s/n, Guararema – 29500-00 – Alegre-ES, Brasil, dhysabella@gmail.com, layza.moraes@edu.ufe.br, willian.b.gomes@edu.ufes.br, joao.ms.pereira@edu.ufes.br, renildo.silva@edu.ufes.br, contarini.machado@gmail.com, renato.passos@ufes.br

Resumo

O biocarvão associado a bactérias solubilizadoras de fósforo é uma alternativa sustentável para o manejo da acidez e da fertilidade de solos cultivados com milho. Este trabalho objetivou avaliar o efeito de doses de biocarvão, associadas ou não à inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* (BiomaPHOS®), sobre o pH do solo cultivado com milho (variedade 1051). O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 × 2 (doses de biocarvão de 0; 1,2; 2,4; 3,6 e 4,8 t ha^{-1} e sementes com e sem inoculação), totalizando 40 parcelas. Após o cultivo até o estádio de grãos pré-farináceos, avaliou-se o pH do solo em H_2O. Houve interação significativa entre modo de aplicação e dose de biocarvão ($p = 0,031$), com resposta linear crescente do pH às doses de biocarvão tanto na presença quanto na ausência de inoculação. Conclui-se que o biocarvão eleva o pH do solo cultivado com milho de forma dose-dependente, e que a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo não apresentou efeito consistente sobre o pH, com diferenças pontuais e de sentidos opostos em duas doses.
Palavras-chave: *Bacillus subtilis*. *Bacillus megaterium*. Biochar. *Zea mays*

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias/Agronomia

Introdução

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais de maior relevância econômica e social do Brasil, com produção estimada em 138,3 milhões de toneladas na safra 2025/26, em uma área de 22,54 milhões de hectares (CONAB, 2026). Apesar dessa importância, grande parte dos solos tropicais brasileiros, sobretudo os de Cerrado, apresenta acidez elevada, alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de fósforo, fatores que limitam severamente o desenvolvimento e a produtividade da cultura (FAGERIA; STONE, 1999).

Entre as alternativas sustentáveis ao uso exclusivo de calcário para a correção da acidez do solo, o biocarvão vem se destacando como condicionador, por sua capacidade de elevar o pH e melhorar a fertilidade de solos ácidos (PETTER et al., 2016). Esse efeito corretivo é atribuído à dissolução de carbonatos e óxidos presentes na fração de cinzas do biocarvão, à liberação de cátions básicos e à neutralização de íons H+ por grupos funcionais oxigenados em sua superfície (DAI et al., 2017). Em escala global, meta-análise recente reuniu 232 estudos e demonstrou que a aplicação de biocarvão eleva o pH do solo em média 5,59%, sendo esse efeito modulado pelo pH do próprio biocarvão, pelo pH inicial do solo e pela capacidade de troca catiônica (ZHANG et al., 2025).

Especificamente na cultura do milho cultivada em solos ácidos tropicais, o biocarvão tem promovido a mudança de solos ácidos para neutros ou moderadamente ácidos, associada ao aumento da disponibilidade de nutrientes como fósforo e potássio (TRUJILLO-GONZÁLEZ et al., 2026). Resultado semelhante foi verificado por Bulfa et al. (2023), que observaram melhoria do pH e do estado nutricional de um solo argiloso cultivado com milho após a aplicação de biocarvão de sabugo e de palha do próprio cereal.

Paralelamente ao uso do biocarvão, a inoculação de sementes com bactérias solubilizadoras de fósforo, como *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, tem sido empregada como estratégia para

aumentar a eficiência de uso do fósforo pela cultura do milho, com ganhos de produtividade documentados em condições de campo no Brasil (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2024). O principal mecanismo envolvido é a liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular pelas bactérias, o que reduz o pH na rizosfera e favorece a solubilização de formas inorgânicas de fósforo (CRUZ et al., 2025). Contudo, ainda são escassos os estudos que avaliam a interação entre a aplicação de biocarvão e a inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo sobre atributos químicos do solo, como o pH. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de doses de biocarvão, associadas ou não à inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, sobre o pH do solo cultivado com milho.

Metodologia

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com 4 repetições. Os tratamentos foram compostos por doses de biocarvão: 0; 1,2; 2,4; 3,6 e 4,8 t ha^{-1} e por sementes tratadas com inoculante e sem inoculante, totalizando 40 parcelas. As parcelas foram delimitadas à campo com 12,8 m^2 cada. O solo foi preparado por meio de aração e gradagem. As parcelas foram delimitadas à campo contendo 5 linhas de 0,8 metros entre linhas e 4 metros lineares, perfazendo 12,8 m^2. O biocarvão nas doses de 0; 1,2; 2,4; 3,6 e 4,8 t ha^{-1} foi distribuído uniformemente em toda a parcela, à 20 cm profundidade, observando-se os tratamentos adotados e posteriormente incorporado ao solo sendo revolvido manualmente. As sementes da variedade de milho 1051, foram semeadas a uma profundidade de 5 cm. As sementes foram semeadas com inoculação e sem inoculação. Para as sementes inoculadas foram utilizadas bactérias *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* provenientes do produto comercial BiomaPHOS®. As plantas foram cultivadas até quando as espigas de milho apresentaram características adequadas para silagem, com grãos no estádio pré-farináceo. Após a remoção das plantas foram realizadas as avaliações do pH em H_2O na relação solo-solução de 1:2,5 segundo Embrapa (2009). Os resultados obtidos foram avaliados estatisticamente por meio do programa R (R Core Team, 2023).

Resultados

Houve interação significativa entre modo de aplicação e doses de biochar para o pH do solo (p = 0,031) (Tabela 1). Prosseguindo-se com o desdobramento da interação (Tabela 2).

Tabela 1- Tabela da análise de variância.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	3	0,208	0,069	2,761	0,061
Modo de aplicação	1	0,005	0,005	0,193	0,664
Dose de biochar	4	1,816	0,454	18,094	<0,001
Modo × Dose	4	0,314	0,079	3,132	0,031
Resíduo	27	0,677	0,025	—	—
Total	39	3,020	—	—	—
CV = 2,36%					

Fonte: Autores.

Tabela 2 - Valores médios de pH do solo em função do modo de aplicação e das doses de biochar.

	pH	
Dose de biochar (t ha^{-1})	Com inoculação (I)	Sem inoculação (SI)
0,00	6,32	6,50
1,20	6,43 b	6,69 a
2,40	6,83	6,74

3,60	7,01 a	6,77 b
4,80	6,99	6,98

Fonte: Autores.

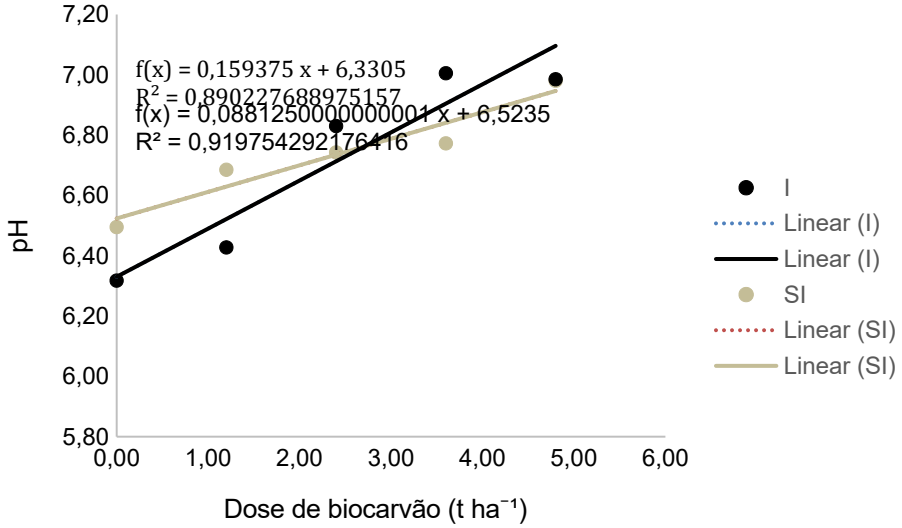
Como a interação foi significativa, o efeito da inoculação deve ser analisado dentro de cada dose. Assim observa-se na tabela 2 com o desdobramento do modo de aplicação dentro das doses de biocarvão que para 0; 2,4 e 4,8 t ha^{-1} não houve diferença entre I e SI. Contudo para 1,2 t ha^{-1} a aplicação sem inoculante (SI) apresentou pH maior que a com inoculação (I) e na dose de 3,6 t ha^{-1} a aplicação com inoculação (I) apresentou pH maior que a aplicação sem inoculante (SI) (Tabela 2).
Em relação ao desdobramento da interação houve efeito significativo do pH tanto na condição com inoculação ($p < 0,001$) quanto na ausência de inoculação ($p = 0,005$) (Tabela 3). Dessa forma, procedeu-se ao ajuste de modelos de regressão para descrever a resposta do pH às doses de biocarvão em cada condição de inoculação. Os resultados são apresentados na Figura 1.

Tabela 3. Tabela da análise de variância do desdobramento da interação das doses dentro de cada nível de inoculação.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Bloco	3	0,208	0,069	2,761	0,061
Modo de aplicação	1	0,005	0,005	0,193	0,664
Dose × I	4	1,643	0,411	16,379	<0,001
Dose × SI	4	0,486	0,122	4,847	0,005
Resíduo	27	0,677	0,025	—	—
Total	39	3,020	—	—	—

Fonte: Autores.

Figura 1- Valores de pH em relação as doses de biocarvão nos tratamentos com inoculação e sem inoculação.



Fonte: Autores.

A Figura 1 demostra que tanto para o tratamento na ausência quanto na presença de inoculação o pH do solo apresentou resposta linear crescente às doses de biocarvão.

Discussão

O aumento do pH do solo em resposta às doses crescentes de biocarvão, observado tanto na presença quanto na ausência de inoculação, evidencia o potencial do material em modificar a reação do solo. Esse comportamento está de acordo com o relatado na literatura, que associa a aplicação de biocarvão à elevação do pH, especialmente em solos com maior acidez. Esse efeito está relacionado às características alcalinas de determinados biocarvões, decorrentes da presença de carbonatos, óxidos e cátions básicos em sua fração de cinzas, além da atuação de grupos funcionais presentes em sua superfície (PETTER et al., 2016; DAI et al., 2017).

A resposta linear crescente observada neste estudo indica que, dentro da faixa de doses avaliada, não foi identificado um ponto de estabilização ou redução do pH com o aumento da quantidade de biocarvão. Esse resultado corrobora a tendência observada por Zhang et al. (2025), que, em uma meta-análise envolvendo 232 estudos, verificaram aumento médio do pH do solo após a aplicação de biocarvão. Segundo os autores, a magnitude dessa resposta pode variar em função das características do biocarvão e das condições iniciais do solo, especialmente seu pH e sua capacidade de troca catiônica. Dessa forma, a resposta observada no presente estudo pode estar relacionada às características específicas do biocarvão utilizado e às condições químicas do solo experimental.

Na cultura do milho, resultados semelhantes foram relatados por Trujillo-González et al. (2026), que observaram alterações favoráveis na reação de solos ácidos após a aplicação de biocarvão, acompanhadas por mudanças na disponibilidade de nutrientes. Bulfa et al. (2023) também verificaram melhoria do pH de um solo cultivado com milho após a aplicação de biocarvão produzido a partir de resíduos do próprio cereal. Esses resultados reforçam a possibilidade de utilização do biocarvão como alternativa complementar para o manejo da acidez do solo.

Embora o efeito isolado do modo de aplicação não tenha sido significativo ($p = 0,664$), a interação entre modo de aplicação e doses de biocarvão foi significativa ($p = 0,031$). No entanto, o desdobramento mostra que ela decorre de diferenças pontuais e de sentidos opostos: na dose de 1,2 t ha^{-1}, o pH foi maior sem inoculação, enquanto na dose de 3,6 t ha^{-1} foi maior com inoculação; nas doses de 0; 2,4 e 4,8 t ha^{-1} não houve diferença entre os tratamentos. O sentido da diferença se inverteu ao longo das doses (maior pH sem inoculação nas doses mais baixas e com inoculação nas mais altas), de modo que a interação reflete respostas distintas às doses de biocarvão, e não um efeito direto e consistente da inoculação sobre o pH do solo.

A ausência de um efeito consistente da inoculação sobre o pH é coerente com o fato de que *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* são utilizados principalmente pelo potencial de solubilização de fósforo, processo associado à produção de ácidos orgânicos na região próxima às raízes (CRUZ et al., 2025). Como esse efeito ocorre predominantemente na rizosfera, ele não necessariamente se reflete no pH da camada de solo avaliada, e o efeito alcalinizante do biocarvão pode ter predominado sobre o pH determinado após o cultivo. Contudo, como o pH da rizosfera não foi avaliado, este estudo não permite atribuir às bactérias efeito sobre a reação do solo.

O efeito significativo das doses dentro da condição inoculada ($p < 0,001$) e não inoculada ($p = 0,005$) demonstra que o aumento das doses de biocarvão elevou o pH do solo nas duas condições. Dessa forma, o biocarvão foi o fator determinante da variação do pH, ao passo que a inoculação não apresentou efeito consistente, e as diferenças pontuais observadas nas doses de 1,2 e 3,6 t ha^{-1} não permitem atribuí-las à ação das bactérias.

Considerando o conjunto dos resultados, o aumento do pH observado com as doses de biocarvão demonstra o potencial desse material para atuar como condicionador químico do solo. A inoculação, por sua vez, não influenciou de forma consistente o pH, de modo que seus efeitos devem ser avaliados

sobre outros atributos, como a disponibilidade de fósforo. Estudos adicionais que avaliem simultaneamente o pH da rizosfera, a disponibilidade de fósforo e a dinâmica das populações microbianas, em diferentes solos e biocarvões, podem contribuir para compreender melhor a associação entre essas práticas.

Conclusão

Nas condições em que o experimento foi conduzido, conclui-se que a aplicação de biocarvão promoveu aumento do pH do solo cultivado com milho, com resposta linear crescente às doses avaliadas. A inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* não apresentou efeito consistente sobre o pH do solo: as diferenças observadas nas doses de 1,2 e 3,6 t ha^{-1} ocorreram em sentidos opostos e não se repetiram nas demais doses, não sendo possível atribuí-las à inoculação. Recomenda-se que estudos futuros avaliem a associação entre biocarvão e bactérias solubilizadoras de fósforo em diferentes classes de solo e ciclos de cultivo, bem como seus efeitos sobre a disponibilidade de fósforo e outros atributos químicos do solo, visando subsidiar estratégias de manejo conjunto na cultura do milho.

Referências

BULFA, A. D. Jr.; VILLEGAS-PANGGA, G.; WAGAN, A. M. Corn cob and corn husk biochars enhance the growth of corn (Zea mays L.) in fertilized clay loam soil. **The Philippine Agricultural Scientist,** v. 106, n. 2, p. 103-115, 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2025/26**, quinto levantamento. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento, 2026.

CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. da C.; DUARTE, G. A.; ROCHA, I. de S. **Phosphate-solubilizing microorganisms and phosphorus rates affecting yield, nutrient uptake and economic viability of corn and rice in the off-season**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 55, e82218, 2025.

DAI, Z.; ZHANG, X.; TANG, C.; MUHAMMAD, N.; WU, J.; BROOKES, P. C.; XU, J. Potential role of biochars in decreasing soil acidification - a critical review. **Science of the Total Environment**, v. 581-582, p. 601-611, 2017.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 42 p. (**Embrapa Arroz e Feijão**. Documentos, 92). OLIVEIRA-PAIVA, C. A. de; BINI, D.; SOUSA, S. M. de; RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C. dos; LANA, U. G. de P.; SOUZA, F. F. de; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Inoculation with Bacillus megaterium CNPMS B119 and Bacillus subtilis CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 1426166, 2024.

PETTER, F. A.; LIMA, L. B. de; MORALES, M. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; MORAIS, L. A. de. Biocarvão no solo: aspectos agronômicos e ambientais. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 8.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE**, 5., 2016, Sinop. Anais... Sinop: SIMBRAS, 2016. p

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3aed.rev.e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p. 2017.

TRUJILLO-GONZÁLEZ, J. M.; MAHECHA-PULIDO, J. D.; ASTROZ-CANO, A. M.; TORRES-MORA, M. A.; SILVA-PARRA, A.; SERRANO-GÓMEZ, M.; CASTILLO-MONROY, E. F.; GARCÍA-NAVARRO, F. J.; JIMÉNEZ-BALLESTA, R. Application of biochar and impacts on corn (Zea mays L.) agronomic development and nutrient availability in soil under tropical climate. International **Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture,** v. 15, n. 1, p. 36-46, 2026.

ZHANG, N.; XING, J.; WEI, L.; LIU, C.; ZHAO, W.; LIU, Z.; WANG, Y.; LIU, E.; REN, X.; JIA, Z.; WEI, T.; SIDDIQUE, K. H. M.; ZHANG, P. **The potential of biochar to mitigate soil acidification: a global meta-analysis. Biochar**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2025.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Física do Solo, da Universidade Federal do Espírito Santo - Campus de Alegre, pela infraestrutura para realização deste estudo, à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a empresa NetZero pelo fornecimento do biocarvão utilizado no experimento.