ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE BIOCARVÃO DE PALHA DE CAFÉ

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

Universidade Federal do Espírito Santo/Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário, s/n, Guararema, 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, layza.moraes@edu.ufes.br, joao.ms.pereira@edu.ufes.br, hysabella.dascani@edu.ufes.br, renildo.silva@edu.ufes.br, contarini.machado@gmail.com, renato.passos@ufes.br

Resumo

O estudo avaliou o efeito de doses de biocarvão produzido a partir de palha de café sobre os atributos químicos do solo cultivado com café arábica sob fertirrigação. O experimento foi conduzido em Afonso Cláudio, ES, utilizando quatro doses de biocarvão (0; 2,5; 5,0 e 7,5 t ha^{-1}), com cinco repetições. Foram avaliados atributos químicos do solo, e os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. As doses não alteraram significativamente o pH, os teores de P, K, o Al^{3+} e a CTC a pH 7,0. Entretanto, houve redução nos teores de Ca, Mg e Na, na soma de bases, na CTC efetiva e na saturação por bases, além do aumento da acidez potencial e da saturação por alumínio. Conclui-se que, nas condições avaliadas, embora o biocarvão seja comumente apontado como condicionador de solo os resultados obtidos podem estar relacionados ao histórico de manejo da área, sugerindo que fatores como a fertirrigação contínua tenham exercido influência sobre esses comportamentos.

Palavras-chave: Condicionador de solo. Fertilidade do solo. Café arábica. Biochar.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias. Agronomia.

Introdução

O Brasil destaca-se como um dos principais produtores mundiais de café. Para a safra de 2026, a produção brasileira foi estimada em 67,6 milhões de sacas de 60 kg, representando um dos maiores volumes da série histórica nacional, segundo o terceiro levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2026). A elevada produção de café também resulta na geração de grandes quantidades de resíduos ao longo das etapas de produção e beneficiamento, entre os quais se destaca a palha de café. Estimativas para o período de 2018 a 2022 indicaram uma geração anual de aproximadamente 4,5 a 5,6 milhões de toneladas de casca ou palha de café no Brasil, evidenciando o potencial desse resíduo para o desenvolvimento de alternativas de aproveitamento (SILVA; MARTINS NETO, 2024).

Entre as possibilidades de aproveitamento desses materiais está a produção de biocarvão por meio da pirólise da biomassa. O biocarvão é um material carbonáceo cujas características são influenciadas pela matéria-prima utilizada e pelas condições do processo de pirólise, podendo promover alterações nos atributos químicos e físicos do solo (Lehmann; Joseph, 2009).

A aplicação de biocarvão tem sido associada a modificações no pH, na disponibilidade de nutrientes, na capacidade de troca catiônica e na retenção de cátions no solo (Lehmann et al., 2003, Cheng et al., 2006). Entretanto, os efeitos desse material não são uniformes, podendo variar em função das características do biocarvão, da dose aplicada, do tipo de solo, das condições climáticas e do manejo adotado na área. Dessa forma, a avaliação do comportamento do biocarvão em condições específicas de cultivo é necessária para compreender sua interação com o sistema solo-planta.

Considerando a utilização de biocarvão produzido a partir de palha de café em uma área cultivada sob fertirrigação, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão, produzido a 650 °C, sobre os atributos químicos do solo em condições de campo.

Metodologia

O ensaio experimental foi estabelecido no município de Afonso Cláudio, Espírito Santo, em parceria com um produtor rural interessado na avaliação do potencial de utilização de biocarvão produzido a partir de palha de café. A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 19°59'02,43"S e 41°07'16,26"W, a uma altitude de 307 m.

O experimento foi conduzido em uma área cultivada com café arábica (*Coffea arabica* L.), variedade Acauã, sob sistema de manejo fertirrigado. A utilização da fertirrigação permitiu o fornecimento de água e nutrientes à cultura de acordo com o manejo adotado na propriedade.

A aplicação do biocarvão foi realizada quando os cafeeiros apresentavam aproximadamente 12 meses após o plantio. O biocarvão produzido a partir de palha de café foi incorporado ao solo em uma faixa de 1,5 m de largura ao longo da linha de cultivo. Foram avaliadas quatro doses de biocarvão: 0; 2,5; 5,0; e 7,5 t ha^{-1}.

Os tratamentos foram distribuídos na área experimental com cinco repetições, sendo cada repetição constituída por uma linha de plantio contendo 10 plantas de café, totalizando 20 unidades experimentais.

Foram realizadas coletas de amostras deformadas de solo na profundidade de 0–20 cm, com o objetivo de avaliar o efeito das doses de biocarvão sobre os atributos químicos do solo. As amostras foram submetidas as seguintes análises químicas: pH em água; Al^{3+}, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Na^{+} trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L^{-1}, sendo Al^{3+} determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1}, Ca^{2+} e Mg^{2+} por espectrofotômetro de absorção atômica e Na^{+} por fotometria de chama; K e P disponíveis por extração com $Mehlich^{-1}$, determinados por fotometria de chama e colorimetria, respectivamente; acidez potencial (H+Al) utilizando Ca(OAc)2 0,5 mol L^{-1}, ajustado para pH 7,0, titulado com NaOH 0,0606 mol L^{-1}, conforme Teixeira (2017).

A partir dos resultados das análises químicas, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (t), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), a saturação por bases (V%) e a saturação por alumínio (m%).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando-se as doses de biocarvão como fonte de variação. Para as variáveis que apresentaram efeito significativo das doses, ao nível de 5% de probabilidade, foi realizada análise de regressão em função das doses de biocarvão aplicadas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R.

Resultados

Para os parâmetros avaliados as doses de biocarvão não promoveram alterações estatisticamente significativas ($p > 0,05$) nos valores de pH, fósforo (P), potássio (K), alumínio trocável (Al^{3+}) e capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T). Os valores de pH variaram de 5,24 a 5,37, enquanto os teores de P oscilaram entre 25,40 e 35,46 mg dm^{-3} e os de K entre 211,10 e 256,20 mg dm^{-3}. Da mesma forma, não foi observado efeito significativo das doses sobre os teores de Al^{3+} e sobre a CTC a pH 7,0 (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1- Valores de pH, P, K, Ca, Mg e Na no solo, em função das doses de biocarvão de palha de café 650 ºC.

Dose (t ha^{-1})	pH	P (mg/dm^3)	K (mg/dm^3)	Ca ($cmol_c/dm^3$)	Mg ($cmol_c/dm^3$)	Na ($cmol_c/dm^3$)
0,00	5,34 ± 0,12	35,46 ± 7,36	247,80 ± 18,99	2,06 ± 0,19	0,52 ± 0,07	0,49 ± 0,03
2,50	5,37 ± 0,11	25,44 ± 3,20	211,10 ± 22,89	1,70 ± 0,13	0,40 ± 0,05	0,42 ± 0,03
5,00	5,25 ± 0,08	25,40 ± 4,11	256,20 ± 35,90	1,53 ± 0,08	0,37 ± 0,03	0,32 ± 0,02
7,50	5,24 ± 0,07	32,90 ± 3,19	218,60 ± 27,14	1,51 ± 0,09	0,31 ± 0,01	0,34 ± 0,02
p-valor	$0,733^{ns}$	$0,353^{ns}$	$0,588^{ns}$	0,028*	0,039*	0,001*
CV (%)	4,09	35,89	25,83	16,82	26,32	15,26

ph: relação solo água 1:2,5; P:extrator Mehlich e determinação por colorimetria; Na e K: extrator $Mehlich^{-1}$ e determinação por fotometria de chama; Ca e Mg: extrator KCl 1mol/L e determinação por espectrometria de absorção atômica.

Fonte: Elaboração do Próprio Autor

Tabela 2- Valores de Al^{3+}, $H+Al^{3+}$, Soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), Índice de saturação por alumínio (m), Índice de saturação de bases (V), em função das doses de biocarvão de palha de café 650 ºC.

Dose (t ha^{-1})	Al^{3+} ($cmol_c/dm^3$)	$H+Al^{3+}$ ($cmol_c/dm^3$)	SB ($cmol_c/dm^3$)	t ($cmol_c/dm^3$)	T ($cmol_c/dm^3$)	m (%)	V (%)
0,00	0,28 ± 0,07	3,96 ± 0,03	3,71 ± 0,26	3,99 ± 0,29	7,67 ± 0,29	7,86 ± 0,68	48,15 ± 1,60
2,50	0,35 ± 0,05	4,14 ± 0,15	3,07 ± 0,15	3,42 ± 0,12	7,21 ± 0,28	10,39 ± 1,76	42,48 ± 0,83
5,00	0,39 ± 0,02	4,66 ± 0,17	2,88 ± 0,10	3,27 ± 0,12	7,54 ± 0,17	11,93 ± 0,38	38,20 ± 1,31
7,50	0,45 ± 0,04	5,39 ± 0,10	2,72 ± 0,11	3,17 ± 0,12	8,11 ± 0,16	14,17 ± 0,86	33,54 ± 0,98
p-valor	0,113^{ns}	0,000*	0,004*	0,024*	0,090^{ns}	0,005*	0,000*
CV (%)	28,46	6,07	12,16	12,16	6,82	21,23	6,70

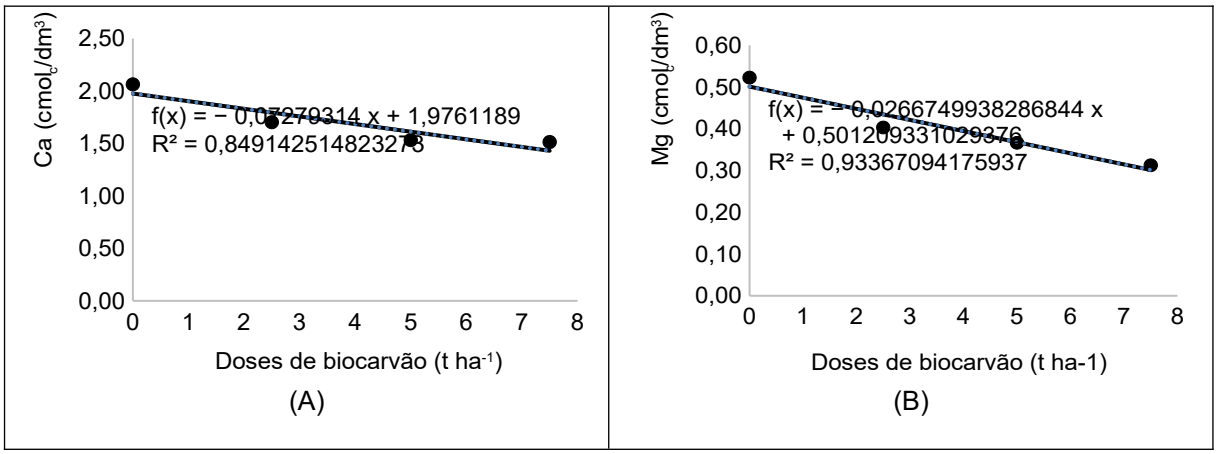
Al: extrator KCl 1mol/L e determinação por titulometria; H+Al: extrator Acetato de Cálcio 0,5mol/L pH7,0 e determinação por titulometria; SB: Soma de bases trocáveis; t:capacidade de troca catiônica efetiva; CTC 7,0 (T):capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: Índice de saturação de bases; m: Índice de saturação por alumínio.
Fonte: Elaboração do Próprio Autor

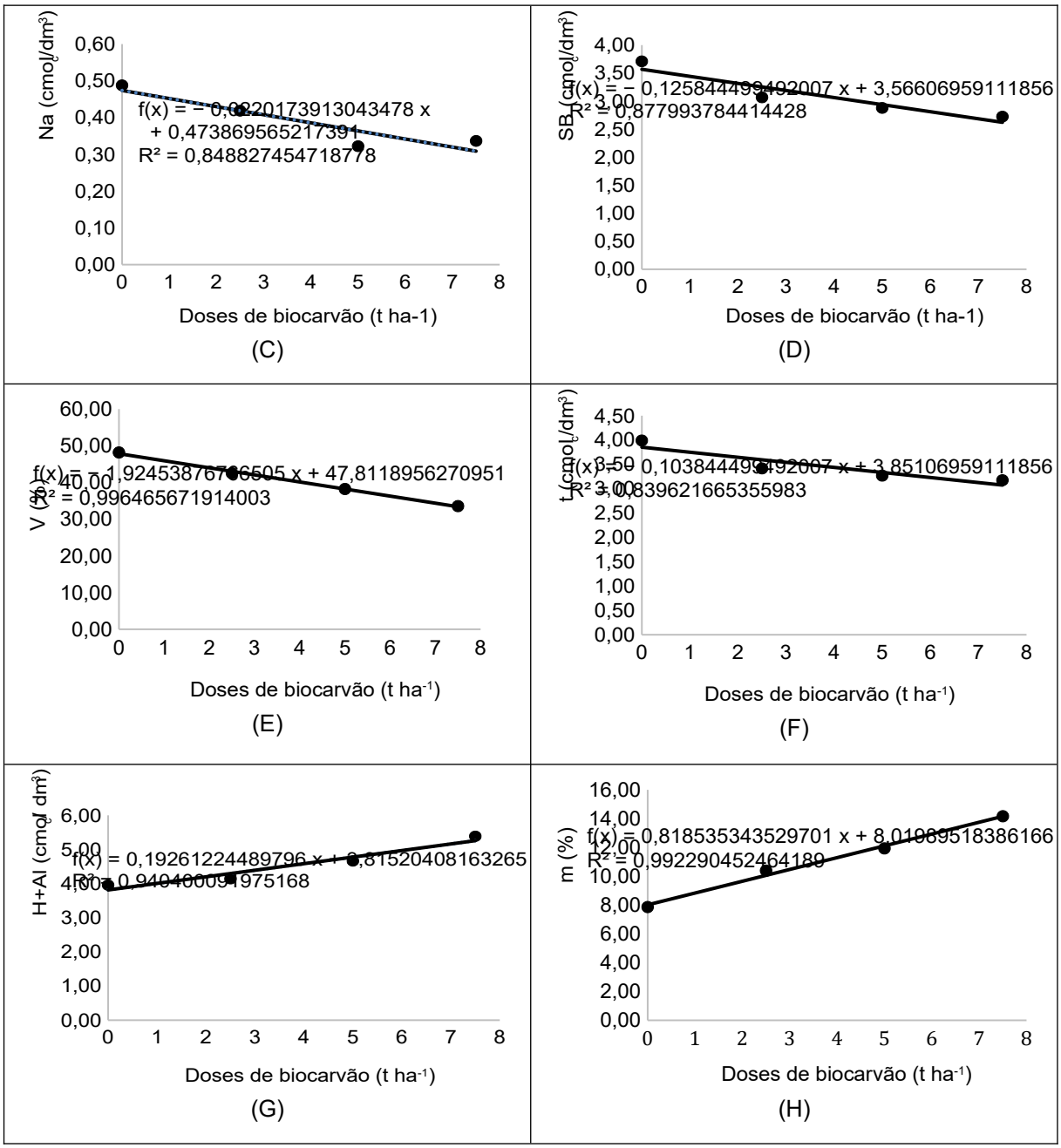
Por outro lado, houve efeito significativo das doses sobre os teores de Ca, Mg e Na, que apresentaram redução com o aumento das doses de biocarvão. O teor de Ca reduziu de 2,06 para 1,51 cmolc dm^{-3}, o Mg de 0,52 para 0,31 cmolc dm^{-3} e o Na de 0,49 para 0,34 cmolc dm^{-3} entre a testemunha e a dose de 7,5 t ha^{-1} (Figuras 1A, 1B e 1C).

Também foram observadas reduções significativas na soma de bases (SB), que passou de 3,71 para 2,72 cmolc dm^{-3}, na saturação por bases (V), de 48,15 para 33,54%, e na capacidade de troca catiônica efetiva (t), de 3,99 para 3,17 cmolc dm^{-3} (Figuras 1D, 1E, 1F).

Em contrapartida, a acidez potencial (H+Al) aumentou de 3,96 para 5,39 cmolc dm^{-3}, enquanto a saturação por alumínio (m) passou de 7,86 para 14,17% com o aumento das doses de biocarvão. Para as variáveis que apresentaram efeito significativo, as análises de regressão indicaram resposta em função das doses aplicadas (Figuras 1G e 1H).

Figura 1 – Valores de Cálcio (A), Magnésio (B), Sódio (C), Soma de bases (D) , saturação por bases (E), Capacidade de troca catiônica (F), H+Al (G), saturação por alumínio (H), do solo em relação as doses de biocarvão de palha de café 650 ºC.




Na (cmol$_c$/dm^3)
f(x) = -0,0220173913043478 x + 0,473869565217391
R² = 0,848827454718778
Doses de biocarvão (t ha-1)
(C)
SB (cmol$_c$/dm^3)
f(x) = -0,125844499492007 x + 3,56606959111856
R² = 0,877993784414428
Doses de biocarvão (t ha-1)
(D)
V (%)
f(x) = -1,92453876766505 x + 47,8118956270951
R² = 0,996465671914003
Doses de biocarvão (t ha^{-1})
(E)
t (cmol$_c$/dm^3)
f(x) = -0,103844499492007 x + 3,85106959111856
R² = 0,839621665355983
Doses de biocarvão (t ha^{-1})
(F)
H+Al (cmol$_c$/dm^3)
f(x) = 0,192612244897796 x + 3,815204081632654
R² = 0,940460094975168
Doses de biocarvão (t ha^{-1})
(G)
m (%)
f(x) = 0,818535343529701 x + 8,019869518386166
R² = 0,992290452464189
Doses de biocarvão (t ha^{-1})
(H)

Fonte: Elaboração do Próprio Autor

Discussão

Ausência de incrementos na fertilidade do solo e a redução observada nas bases trocáveis (Ca, Mg, Na), associadas à elevação da acidez potencial (H+Al) e da saturação por alumínio (m) em resposta à aplicação do biocarvão de palha de café, divergem do comportamento classicamente descrito para biocarvões em solos tropicais ácidos (Chan et al., 2007; Laird et al., 2010). Embora o material seja comumente apontado como condicionador de solo e corretivo de acidez (Lehmann; Joseph, 2015), os resultados obtidos indicam que a resposta da matriz solo pode estar fortemente associada ao histórico de manejo da área, sugerindo que fatores como a fertirrigação contínua e a dinâmica hídrica local tenham exercido influência sobre esses comportamentos.

Uma possível hipótese para a ausência de respostas mais expressivas do biocarvão sobre a fertilidade do solo reside no fato de que o regime contínuo de irrigação e fertirrigação pode ter mascarado o potencial condicionador do material. O biocarvão atua primariamente incrementando a capacidade de retenção de água e a eficiência no uso de nutrientes, sendo classicamente indicado e mais responsivo em solos de baixa fertilidade, texturas mais arenosas ou sob condições de déficit hídrico e sequeiro (Lehmann & Joseph, 2015; Haider et al., 2020).

Contudo, em ambientes agrícolas submetidos a entradas frequentes de água e fertilizantes, o suprimento constante de íons via fertirrigação tende a saturar a solução do solo e mitigar as vantagens físicas e de retenção que o condicionador proporciona em cenários de restrição hídrica (Novak et al., 2012; Castellini et al., 2015). Desse modo, a alta disponibilidade gerada pelo próprio manejo de irrigação e adubação rotineira pode suprimir ou mascarar os efeitos benéficos diretos do biocarvão.

Uma possível causa para a redução nos teores de cálcio, magnésio e na soma de bases reside na forte interação entre o manejo de fertirrigação intensiva e a dinâmica química do solo (Major et al., 2010). Sistemas agrícolas sob fertirrigação contínua operam com alta força iônica e concentração elevada de íons na solução do solo (Novak et al., 2012). O influxo constante de água e fertilizantes favorece o deslocamento competitivo de cátions bivalentes do complexo sortivo (Glaser et al., 2002). Portanto, o excesso de íons monovalentes oriundos da adubação possivelmente promove a lixiviação das bases trocáveis, superando a retenção inicial do condicionador (Biederman & Harpole, 2013).

Conclusão

Embora o biocarvão comumente seja apontado como condicionador de solo, nas condições avaliadas de cultivo sob fertirrigação, o biocarvão de palha de café (650 °C) nas doses de 0; 2,5; 5,0 e 7,5 t ha^{-1}, não promoveu melhorias nos atributos químicos relacionados à fertilidade do solo. Os resultados evidenciam a necessidade de estudos de longo prazo para melhor compreender a dinâmica e os efeitos desse material em sistemas de produção de café.

Referências

BIEDERMAN, L. A.; HARPOLE, W. S. Biochar and its effects on soil productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v. 5, n. 2, p. 202-214, 2013.

CASTELLINI, M. et al. Impact of biochar on physical and chemical properties of a fine-textured soil under Mediterranean condition. **Agronomy**, v. 5, n. 4, p. 555-575, 2015.

CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A.; JOSEPH, S. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. **Australian Journal of Soil Research**, v. 45, n. 8, p. 629-634, 2007.

CHENG, C. H.; LEHMANN, J.; ENGELHARDT, D. Biocharstability in soil: decompositionduringeightyears. ***SoilBiology&Biochemistry***, v. 38, n. 7, p. 2297-2301, 2006.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). *3º levantamento de café: safra 2026*. Brasília, DF: Conab, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-cafe/3o-levantamento-de-cafe-safra-2026. Acesso em: 1 out. 2026.

GLASER, B.; HAICHUM, J.; ZECH, W.; GUTHRIE, B. A. Amelioration of physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

HAIDER, G. et al. Effects of biochar on soil productivity and water use efficiency in agricultural systems. **Journal of Environmental Management**, v. 258, p. 110-125, 2020.

LAIRD, D. A.; FLECK, P. C.; DAVIS, D. D.; HORTH, R. J.; TORBERT, J. A. Impact of biochar amendments on quality of a typical agricultural soil. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 443-449, 2010.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems–a review. ***Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change***, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 403-427, 2006.
LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science, technology and implementation**. 2. ed. London: Routledge, 2015.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S. J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1, p. 117-128, 2010.

NOVAK, J. M.; BUSSCHER, W. J.; WATTS, D. W.; AMONETTE, J. E.; IPPOLITO, J. A.; LIMA, I. M.; GASKIN, J. W. Short-term assessment of pirogenically derived carbon and biochar effects on soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 41, n. 2, p. 343-350, 2012.

SILVA, Maira Ferraz de Oliveira; MARTINS NETO, Fábio Lúcio. Bioeconomia circular e recursos renováveis de base biológica: alternativas para a cafeicultura brasileira. **Cadernos de Ciências Sociais Aplicadas**, Vitória da Conquista, v. 21, n. 38, p. 104-123, jul./dez. 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Métodos e análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

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.