EFEITO DE DOSES DE BIOCARVÃO SOBRE OS TEORES FOLIARES DE MACRO E MICRONUTRIENTES DO CAFFEIRO CONILON CLONE R8

Hysabella Da Silva Dascani, Gabriel Vieira Cordeiro, Layza de Oliveira Moraes, Pedro Henrique De Melo Lazaro, João Marcelo da Silva Pereira, 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, gabriel.v.cordeiro@edu.ufes.br, layza.moraes@edu.ufes.br, pedro.lazaro@edu.ufes.br, joao.ms.pereira@edu.ufes.br, contarini.machado@gmail.com, renato.passos@ufes.br

Resumo

O biocarvão apresenta potencial para alterar a disponibilidade de nutrientes no solo e, consequentemente, a composição mineral das plantas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta dos teores foliares de nutrientes do cafeeiro conilon, clone R8, à aplicação de diferentes doses de biocarvão. O experimento foi conduzido em campo, em Afonso Cláudio, Espírito Santo, com aplicação superficial de 0, 2,5, 5,0 e 7,5 t ha^{-1} de biocarvão produzido a partir de palha de café. Foram determinados os teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês, sendo os dados submetidos à análise de variância e de regressão. As doses aplicadas alteraram significativamente os teores de P, K, Ca, Mg, Fe e Mn, enquanto N, Cu e Zn não responderam aos tratamentos. Para K, Ca e Mg, observou-se aumento dos teores foliares associado ao incremento das doses. Conclui-se que a aplicação de biocarvão modificou a composição mineral das folhas do clone R8, com respostas distintas entre os nutrientes avaliados.

Palavras-chave: *Coffea canephora*. Nutrição mineral. Biochar.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias/Agronomia

Introdução

No cenário agropecuário capixaba, o café ocupa lugar central: o Espírito Santo é o único estado do país que combina produção relevante de arábica e de conilon, despontando como maior produtor desta segunda espécie (SILVA et al., 2017). Além do peso econômico, a atividade sustenta a permanência de famílias no campo, o que torna estratégico investir em práticas que elevem a produtividade sem comprometer os recursos naturais envolvidos (SILVA et al., 2017). Um desses recursos é justamente o volume expressivo de palha gerado durante o beneficiamento dos grãos, cuja destinação é regulamentada e precisa seguir critérios ambientais definidos em norma estadual (IDAF, 2003; IDAF, 2014).

Uma resposta que tem se consolidado nesse contexto é o aproveitamento da palha para a fabricação de biocarvão, subproduto obtido pela decomposição térmica controlada de material orgânico rico em carbono. Por atuar como condicionador do solo, esse insumo altera favoravelmente atributos físicos, químicos e biológicos do substrato, refletindo em ganhos de fertilidade (TRAZZI et al., 2018; KHAN et al., 2024). Pesquisas em diferentes agroecossistemas tropicais têm associado sua aplicação a maior capacidade de troca catiônica e retenção de água no solo, condições que favorecem indiretamente a nutrição vegetal (SOUZA; OLIVEIRA NETO, 2023).

O potencial do biocarvão está diretamente ligado à composição mineral da biomassa de origem, fator que determina sua eficiência na retenção de carbono e de nutrientes no solo. Materiais com maior riqueza mineral costumam sustentar por mais tempo os ganhos de fertilidade proporcionados ao sistema produtivo (MATOSO; ALMODÓVAR, 2024). Some-se a isso o efeito já registrado sobre a capacidade de troca catiônica e a atividade biológica do solo, elementos que reforçam a relevância desse insumo para o manejo agrícola (SOUZA; OLIVEIRA NETO, 2023).

A partir desse panorama, a proposta central deste trabalho foi devolver à lavoura, sob a forma de biocarvão, o próprio resíduo gerado, fechando um ciclo produtivo mais sustentável. Assim, buscou-se avaliar de que forma doses crescentes de biocarvão aplicadas superficialmente afetam os teores foliares de macro e micronutrientes do cafeeiro conilon, clone R8**.**

Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida em uma área de cultivo de café conilon localizada em Afonso Cláudio, Espírito Santo, tendo como material avaliado o clone R8. O estudo foi composto por quatro níveis de aplicação de biocarvão, correspondentes a 0, 2,5, 5,0 e 7,5 t ha^{-1}, distribuídos em quatro repetições. O biocarvão foi obtido da palha de café e submetido à pirólise a 650 °C, proveniente de uma empresa parceira NetZero, sendo posteriormente aplicado na superfície do solo e incorporado até aproximadamente 5 cm de profundidade em uma faixa de um metro de largura na linha de plantio. Para caracterizar a resposta nutricional das plantas dois anos após a aplicação, foram coletadas folhas de quatro plantas por parcela, selecionando-se o terceiro ou quarto par foliar localizado nos diferentes pontos de orientação dos ramos. Após a coleta, as folhas passaram pelas etapas de secagem e moagem e foram encaminhadas para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn, seguindo a metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O delineamento foi em blocos casualizados e os resultados obtidos para cada nutriente foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância. Nos casos em que houve efeito significativo dos tratamentos, foram realizadas análises de regressão com o objetivo de caracterizar a resposta dos teores foliares às diferentes quantidades de biocarvão. O processamento estatístico foi realizado no programa R (R Core Team, 2023).

Resultados

No clone R8, seis dos nove nutrientes avaliados — P, K, Ca, Mg, Fe e Mn — foram significativamente influenciados pelas doses de biocarvão. O N, Cu e Zn não apresentaram variação estatística relevante entre os tratamentos (Tabela 1).

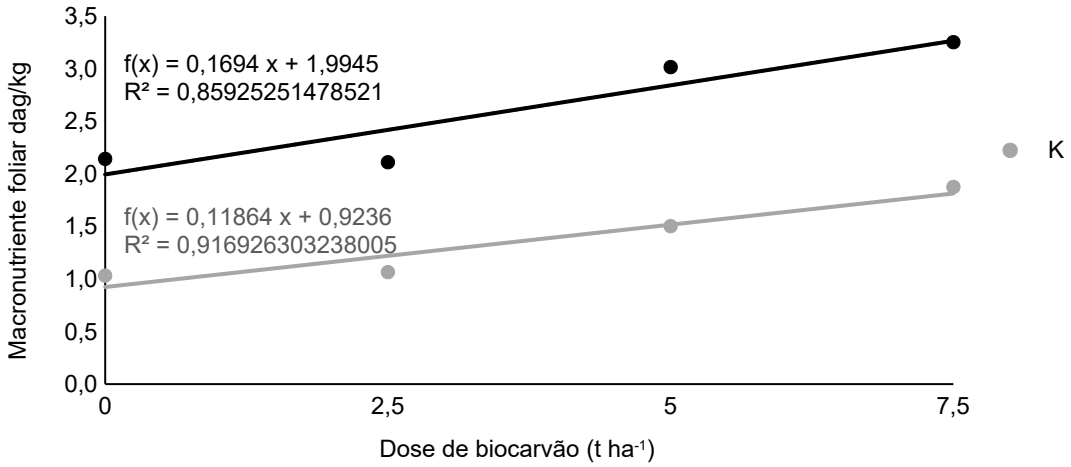
Tabela 1. Variação dos teores foliares de nutrientes do cafeeiro conilon, clone R8, em resposta à aplicação de biocarvão.

	CLONE R8								
Dose	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
t/ha	dag/kg					mg/kg			
0,0	2,800	0,053	1,032	2,142	0,317	82,667	8,877	10,867	401,167
2,5	2,820	0,038	1,065	2,110	0,332	86,125	9,195	9,840	626,967
5,0	2,622	0,063	1,502	3,015	0,440	277,852	8,795	10,667	337,283
7,5	2,737	0,073	1,875	3,252	0,435	121,827	9,035	9,045	444,580
p_valor	0,578^{ns}	0,043*	0,001*	0,011*	0,046*	0,003*	0,938^{ns}	0,764^{ns}	0,002*
CV (%)	7,82	27,64	18,96	18,54	18,02	46,14	10,80	26,57	18,97

Fonte: Produção do próprio autor.

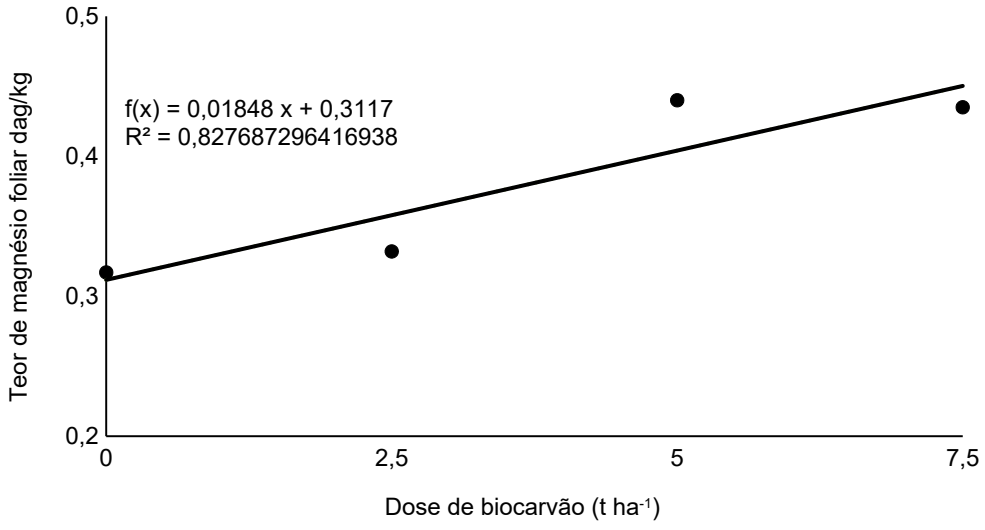
Para K, Ca e Mg, verificou-se resposta linear positiva à aplicação das doses de biocarvão, com aumento dos teores foliares à medida que a dose aplicada foi elevada. Os modelos ajustados foram K = 0,1186x + 0,9236 (R^2 = 0,9169), Ca = 0,1694x + 1,9945 (R^2 = 0,8593) e Mg = 0,0185x + 0,3117 (R^2 = 0,8277), indicando bom ajuste das equações aos dados observados. Embora P, Fe e Mn tenham apresentado efeito significativo entre as doses, a variabilidade dos dados não permitiu estabelecer modelos de regressão que representassem adequadamente o comportamento desses nutrientes (Figuras 1,2,3 e 4).

Figura 1- Teores foliares de cálcio (Ca) e potássio (K) no cafeeiro conilon, clone R8, em resposta às doses de biocarvão.



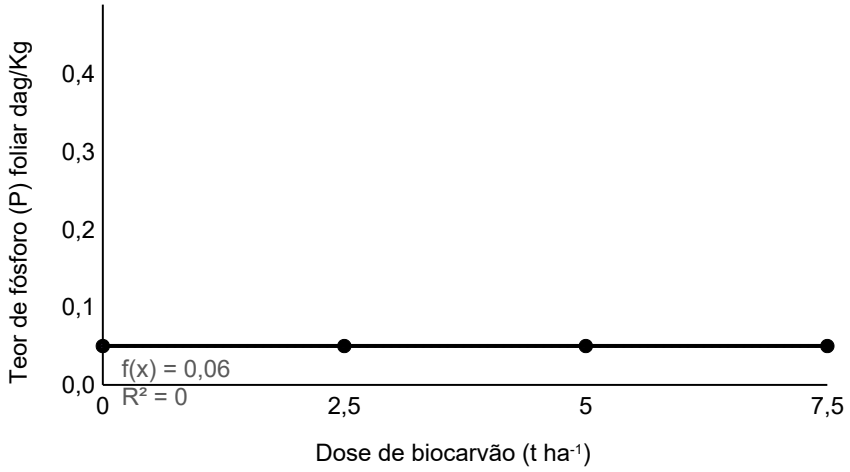
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 2- Teores foliares de magnésio (Mg) no cafeeiro conilon, clone R8, em resposta às doses de biocarvão.



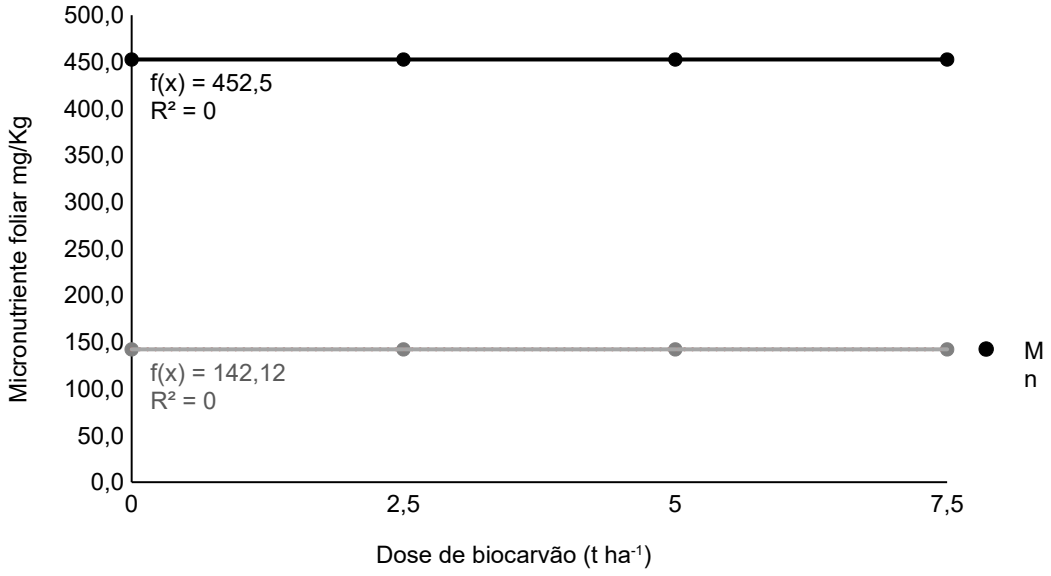
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 3- Teor de fósforo (P) foliar no cafeeiro conilon, clone R8, em resposta às doses de biocarvão.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 4- Teores de micronutrientes manganês (Mn) e ferro (Fe) foliares em cafeeiro conilon, clone R8, em resposta às doses de biocarvão.



Fonte: Produção do próprio autor

Discussão

Entre os nutrientes que apresentaram resposta mais evidente à aplicação do biocarvão, destacaram-se potássio (K), magnésio (Mg) e ferro (Fe). O K apresentou teores inicialmente inferiores

à faixa de suficiência estabelecida por Bragança, Prezotti e Lani (2017), de 1,75 a 2,53 dag kg^{-1}, aproximando-se desse intervalo com o aumento das doses.

Esse comportamento foi acompanhado por resposta linear positiva, indicando que o incremento da quantidade de biocarvão esteve associado à elevação gradual do teor foliar desse nutriente. O Mg, por sua vez, permaneceu próximo à faixa considerada adequada (0,26–0,42 dag kg^{-1}), apresentando aumento progressivo com as doses. Para o Fe, embora tenha ocorrido diferença significativa entre os tratamentos, sua variação não apresentou o mesmo padrão linear observado para K e Mg.

Em contraste, os teores de Ca e Mn chamaram atenção pelos valores elevados em relação às faixas de referência. O Ca apresentou concentrações superiores ao intervalo de suficiência indicado por Bragança, Prezotti e Lani (2017), de 0,98 a 1,60 dag kg^{-1}, inclusive no tratamento sem aplicação de biocarvão, alcançando 3,25 dag kg^{-1} na maior dose avaliada. Para o Mn, os valores variaram de 337 a 627 mg kg^{-1}, excedendo amplamente a faixa de referência de 24 a 80 mg kg^{-1}. Embora o cafeeiro conilon apresente tolerância a concentrações elevadas desse micronutriente, os valores observados indicam a necessidade de atenção ao equilíbrio nutricional da cultura, uma vez que concentrações excessivas de Mn podem interferir na absorção e utilização de outros elementos (KHAN et al., 2020).

O fósforo (P) apresentou comportamento distinto dos demais macronutrientes, mantendo-se abaixo da faixa de referência de 0,09 a 0,15 dag kg^{-1} em todas as doses de biocarvão. Esse resultado indica que, nas condições avaliadas, o incremento da aplicação do material não foi suficiente para elevar o teor foliar de P aos níveis considerados adequados. Dessa forma, os resultados reforçam a importância de estratégias específicas de manejo desse nutriente. O N, Cu e Zn não apresentaram respostas estatisticamente significativas às doses de biocarvão. O N manteve valores entre 2,62 e 2,82 dag kg^{-1}, dentro da faixa considerada adequada, enquanto Cu e Zn também permaneceram dentro dos respectivos intervalos de suficiência.

A diferença de resposta entre os nutrientes evidencia que a aplicação do biocarvão não promoveu alterações uniformes na composição mineral das folhas do clone R8. A maior resposta observada para K, Ca e Mg pode estar relacionada às alterações promovidas pelo material na dinâmica dos nutrientes no solo, enquanto o comportamento do P demonstra que a aplicação do biocarvão, isoladamente, não foi suficiente para corrigir os baixos teores foliares desse elemento. Esse padrão é coerente com os resultados apresentados por Santos (2020), que observaram alterações na disponibilidade de nutrientes após a aplicação de biocarvão produzido a partir de palha de café em solos do Espírito Santo.

A comparação com os resultados de Santos (2020) também evidencia que alterações na disponibilidade de nutrientes no solo não necessariamente correspondem, na mesma magnitude, aos teores acumulados nos tecidos vegetais. Em estudos de incubação, o biocarvão produzido a partir de palha de café conilon promoveu aumento expressivo da disponibilidade de K no solo, enquanto, no presente estudo, a resposta foliar ocorreu de maneira gradual. Essa diferença pode estar associada às próprias condições experimentais, uma vez que a avaliação em plantas cultivadas em campo envolve processos simultâneos de absorção, demanda nutricional e interação entre os diferentes componentes do sistema solo-planta. Assim, os resultados obtidos para o clone R8 demonstram que a resposta ao biocarvão deve ser analisada considerando tanto a disponibilidade dos nutrientes no solo quanto sua efetiva absorção pelas plantas.

Conclusão

Nas condições avaliadas, doses crescentes de biocarvão aplicadas superficialmente favoreceram a absorção foliar de K, Ca, Mg e Fe pelo clone R8, com resposta linear positiva para os três primeiros elementos. Por outro lado, o excesso de Ca e Mn e a insuficiência de P identificados apontam para ajustes necessários no programa de adubação da área. De modo geral, o estudo reforça o biocarvão de palha de café como alternativa viável para a nutrição mineral do cafeeiro, sendo recomendável dar continuidade às avaliações em estágios posteriores da cultura.

Referências

BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. Nutrição do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, Romário Gava et al. (org.). **Café Conilon**. 2. ed. Vitória: Incaper, 2017. p. 327-346.
IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. Portaria nº 23-R, de 2 de dezembro de 2003.

IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo. Instrução Normativa nº 003, de 31 de janeiro de 2014.

KHAN, A. Z.; KHAN, S.; KHAN, M. A.; ALAM, M.; AYAZ, T. O biochar reduziu a absorção de metais pesados tóxicos e seus riscos à saúde associados por meio do cultivo de arroz (Oryza sativa L.) em solos contaminados por minas de Cr-Mn. **Environmental Technology & Innovation**, v. 17, fev. 2020.

KHAN, S.; IRSHAD, S.; MEHMOOD, K.; HASNAIN, Z.; NAWAZ, M.; RAIS, A.; GUL, S.; WAHID, M. A.; HASHEM, A.; ABD ALLAH, E. F.; IBRAR, D. Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: a review. **Plants** (Basel), v. 13, n. 2, p. 166, 2024.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MATOSO, S. C. G.; ALMODÓVAR, C. M. Retenção de carbono em biocarvões em função do conteúdo mineral da matéria-prima. **Revista de Agronomia Brasileira**, 2024.

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

SANTOS, D. A. **Biocarvões como condicionadores do solo e seus efeitos sobre o crescimento e nutrição de** *Eucalyptus urograndis*. 2020. 120 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Pós-graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, 2020.

SILVA, A. E. S. da; MASO, L. J.; COSTA, E. B. da; BASSANI, L. A.; GALEANO, A. V. Importância econômica e social do café conilon no Estado do Espírito Santo. In: FERRÃO, Romário Gava; FAZUOLI, Luiz Cláudio; PIRES, C.; VICTÓRIO, A. M. de C.; FONSECA, A. F. da. **Café Conilon**. 2. ed. Vitória: Incaper, 2017. p. 55-66.

SOUZA, L. C.; OLIVEIRA NETO, C. F. Resposta do biocarvão nos atributos e na emissão de gases do solo. In**: Tecnologia e inovação na agricultura: aplicação, produtividade e sustentabilidade em pesquisa**. Vol. 1. Editora Científica Digital, 2023. p. 242-245.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 875-887, 2018.

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.