

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE ELEMENTOS TERRA RARAS NO TEOR DE CLOROFILA E TROCAS GASOSAS DE CAFÉ¹

Paula Tristão Santini²; Miguel Funchal³; Juliana Coimbra Araújo⁴; Luiz Gustavo Rosa Freire⁵; José Marcos Angélico Mendonça⁶; Luiz Roberto Guimarães Guilherme⁶

¹Trabalho financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG)

²Pesquisadora vinculada ao Grupo de Estudos em Cafeicultura do IFSULDEMINAS- Campus Muzambinho, MG, paulasantini@gmail.com

³Discente do curso de Engenharia Agrônômica, IFSULDEMINAS- Campus Muzambinho, MG, miguel9009@gmail.com

⁴Discente do curso de Engenharia Agrônômica, IFSULDEMINAS- Campus Muzambinho, MG, julianacoimbraaraujo@gmail.com

⁵Discente do curso de Engenharia Agrônômica, IFSULDEMINAS- Campus Muzambinho, MG, luizgrosafreire@gmail.com

⁶Professor no IFSULDEMINAS- Campus Muzambinho, MG, jose.mendonca@muz.ifsulde Minas.edu.br

⁷Professor no Departamento de Ciências dos Solos da Universidade Federal de Lavras, MG, guilherm@dcs.ufla.br

RESUMO: Os estudos com ETRs são ainda muito incipientes no Brasil, particularmente em sistemas agrícolas. De maneira geral, o estudo da presença de ETRs em plantas ainda é pouco conhecido. Os aumentos de produção ocasionados pela aplicação de ETRs são relacionados ao aumento da taxa fotossintética das plantas. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o teor de clorofila e fotossíntese de folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após aplicação foliar de diferentes doses de ETRs. O ensaio foi implantado em janeiro de 2017, na área experimental do Setor de Cafeicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais- Campus Muzambinho, com cafeeiro da cultivar Catuaí vermelho 144, sendo adotado um espaçamento de 3,8 m (entre linhas) x 1 m (entre plantas), correspondente a um estande de 2632 plantas ha⁻¹, com 19 anos de plantio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 10 plantas, sendo utilizadas 6 plantas centrais nas avaliações. Os tratamentos consistiram da aplicação de um *mix* de elementos terras raras contendo 23,95% de nitrato de lantânio, 41,38% de nitrato de cério, 4,32% de nitrato de praseodímio e 13,58% de nitrato de neodímio. Em todos tratamentos foi aplicado 0,1% de um adjuvante espalhante adesivo não iônico siliconado para melhor absorção e penetração do *mix* via foliar. As doses (kg ha⁻¹) aplicadas foram: 0 (controle), 0,1, 0,3, 0,6, 1,2, 2,4 e 4,8. A pulverização foi feita com um atomizador costal motorizado, nos meses de janeiro e março de 2017 e 2018. Foram analisados o teor de clorofila, fotossíntese. De acordo com os resultados obtidos, os ETRs tiveram ação bioestimulante em cafeeiro, porém é dose dependente, onde as menores doses estimulam um melhor desenvolvimento e as maiores resultaram em efeito tóxico. A melhor dose apresentada para maioria teor de clorofila e fotossíntese foi a de 0,6 kg ha⁻¹, que proporcionou maior produção e rendimento de café, sendo a mais indicada para o uso na cafeicultura. Esses estudos pioneiros com ETRs revelam a necessidade de mais pesquisas para um melhor entendimento dos efeitos do *mix* de lantânio, neodímio, praseodímio e cério, aplicados via foliar, na cultura do café no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: bioestimulante, cafeeiro, agrícolas, folhas.

INFLUENCE OF THE APPLICATION OF RARE EARTH ELEMENTS ON THE CHLOROPHYLL AND GAS COFFEE EXCHANGE CONTENT

ABSTRACT: Studies with the REEs are still very incipient in Brazil, also in agricultural systems. In general, the study of the presence of REEs in plants is still little known. The increase of production caused by the applications of REEs are related to the increase of the photosynthetic rate of the plants. Therefore, the objective of this work was to evaluate the chlorophyll content and photosynthesis of leaves of coffee (*Coffea arabica* L.) after application of different doses of REEs. The experiment was carried out in January 2017, in the Experimental Area of the Coffee Institute of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the South of Minas Gerais - Campus Muzambinho, with coffee of the cultivar Catuaí red 144, being adopted a spacing of 3.8 m (between rows) x 1 m (between plants), corresponding to a set of 2632 plants ha⁻¹, with 19 years of planting. The experimental design was a randomized complete block design with seven treatments and four replications, totaling 28 experimental plots. 10 plants built each plot, and 6 central stations were used in the evaluations. The treatments consisted of the application of a set of compounds containing 23.95% of lanthanum nitrate, 41.38% of cerium nitrate, 4.32% of praseodymium nitrate and 13.58% of neodymium nitrate. Emitting dispensers is one of the treatment and method of morphizing spread in foliar. As doses (kg ha⁻¹) were used: 0 (control), 0.1, 0.3, 0.6, 1.2, 2.4 and 4.8. The spraying was done with a motorized costal spray, in the months of January and March of 2017 and 2018. They were translated to the content of chlorophyll, photosynthesis. According to the results obtained, the REEs have adopted a biostimulant action in coffee, but it is dose dependent, where smaller doses are more important and greater in terms of toxic effect. A better dose for chlorophyll content and photosynthesis was 0.6 kg ha⁻¹, which provided higher production and yield of coffee, being better indicated for use in coffee cultivation.

These pioneering studies with REEs reveal the need for further research to better understand the effects of lanthanum, neodymium, praseodymium and cerium, applied through the leaf, in the Brazilian coffee crop.

KEY WORDS: biostimulant, coffee, agricultural, leaves.

INTRODUÇÃO

Os estudos com ETRs são ainda muito incipientes no Brasil, particularmente em sistemas agrícolas. São chamados de elementos terras raras, o conjunto de 17 elementos químicos, dentre esses elementos, 15 pertencem ao grupo dos lantanídeos com número atômico entre $Z=57$ e $Z=71$ na tabela periódica (IUPAC, 2005).

De maneira geral, o estudo da presença de ETRs em plantas ainda é pouco conhecido. Os aumentos de produção ocasionados pela aplicação de ETRs são relacionados ao aumento da taxa fotossintética das plantas. Benefícios da aplicação de ETRs, tais como promoção do desenvolvimento dos cloroplastos, fotossistemas I e II, aumento do conteúdo de clorofila e estímulo à atividade enzimática (ZHOU et al., 2011) são citados como responsáveis pelo aumento da taxa fotossintética. Algumas pesquisas destacam que, em concentrações adequadas, o Ce^{3+} pode levar a síntese de clorofila a partir de seu precursor, a protoclorofila (HONG et al., 2002) ou atuar em substituição do Mg^{2+} presente no centro da molécula de clorofila, levando a origem da molécula Ce-clorofila. Ainda, já se tem descrito a substituição do Mg na molécula da clorofila por outros ETRs, como La, Nd e Y, trazendo benefícios, principalmente, sob deficiência de Mg^{2+} (GONG et al., 2011a).

O aumento no conteúdo de pigmentos fotossintéticos é relatado em muitas espécies vegetais, em até 53% em clorofila *a* e 22% em clorofila *b* foram observados em milho com aplicação de *mix* de ETRs (EMMANUEL et al., 2010b). Constatou-se um aumento de 17% no conteúdo de clorofila total e 9% no conteúdo de carotenoides totais em plantas de amendoim (EMMANUEL et al., 2010a). Em concentrações tóxicas, a aplicação de ETRs pode estimular a produção da clorofilase, enzima responsável pela degradação da clorofila, levando a danos ao aparato fotossintético e, conseqüentemente, a prejuízos na atividade fotossintética (SHYAM e AERY, 2012).

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o teor de clorofila e fotossíntese de folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) através da aplicação foliar de diferentes doses de ETRs.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Cafeicultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais- Campus Muzambinho, Minas Gerais. O município se encontra a 1033 metros de altitude, $21^{\circ}20'47''$ de latitude Sul e $46^{\circ}32'04''$ de longitude Oeste, com uma temperatura média de $23^{\circ}C$ (INMET, 2015). O ensaio foi implantado com cafeeiro da cultivar Catuaí vermelho IAC 144, sendo adotado um espaçamento de 3,8 m (entre linhas) x 1 m (entre plantas), correspondente a um estande de 2632 plantas ha^{-1} , tendo a lavoura sido implantada em 1998.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, sendo 7 tratamentos, totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 10 plantas, sendo utilizadas 6 plantas dentro da parcela. Foi aplicado um *mix* de elementos terras raras contendo 23,95% de nitrato de lantânio hexahidratado com 99,99% de pureza, 41,38% de nitrato de cério hexahidratado com 99% de pureza, 4,32% de nitrato de praseodímio a 99,9% de pureza e 13,58% de nitrato de neodímio hexahidratado com 99,9% de pureza (WEN et al., 2001). Em todos outros tratamentos, foi aplicado 0,1% do adjuvante BREAK TRHU[®], um espalhante adesivo não iônico siliconado para melhor absorção e penetração do *mix* pelas folhas. Os tratamentos foram compostos pelas seguintes concentrações do *mix*: controle; 0,1; 0,3; 0,6; 1,2; 2,4 e 4,8 $kg\ ha^{-1}$.

O cafeeiro foi pulverizado, com o uso do atomizador costal motorizado com grade cônica. A aplicação do *mix* foi feita nos meses de janeiro e março de 2018.

O teor relativo de clorofila foi obtido utilizando-se o medidor portátil de clorofila SPAD 502 Plus (Konica Minolta, Japão). Para esta avaliação foram utilizadas folhas no terço médio das seis plantas por parcela, folhas totalmente expandidas, localizadas no terceiro par a partir do ápice do ramo. As medições foram feitas 15 dias após a aplicação do *mix* no mês de março de 2017 e 2018.

As avaliações foram realizadas utilizando-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA) no terceiro par de folhas completamente expandidas, no ano de 2018.

Foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk para a determinação da normalidade dos dados. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), *one way*, para comparar a variação das doses, e quando detectadas diferenças significativas, foi o aplicado o post hoc de Bonferroni ao nível de 5% de probabilidade. Para tanto, utilizou-se o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à alta gama de variedades de ETRs, seus efeitos sobre o crescimento vegetal se mostra muito variável, tanto entre espécie a espécie e seus diferentes órgãos (OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, as respostas estão aliadas à estreita faixa que separa as doses ideais das fitotóxicas (D'AQUINO et al., 2009).

Em relação ao teor de clorofila 2017 (gráfico 1), nota-se um aumento de clorofila da dose $0,1 \text{ kg ha}^{-1}$, $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ a $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, atingindo 6.525 a mais que o controle. Pode-se notar também uma queda nos valores do controle, $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$, $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$, onde essa atinge valores de queda de 14,49 em relação à dose maior $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, equivalendo a uma queda de 18,8% de um tratamento a outro, no ano de 2017.

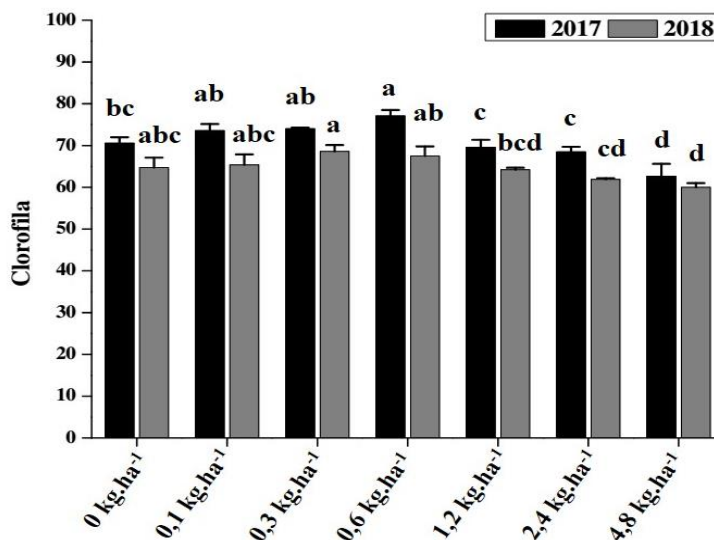


Gráfico 1: Teor de clorofila dos cafés pulverizado com diferentes doses de elementos terra raras. Muzambinho, 2017 e 2018. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, com 5% de probabilidade, pelo teste de Bonferroni.

Em 2018, é notável uma tendência positiva de teor de clorofila do controle à dose $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, onde a dose $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ 8.27 a mais que a pior dose para esse parâmetro que foi a de $4,8 \text{ kg ha}^{-1}$. Esses resultados corroboram com Wang et al. (2012), onde o cério proporcionou um aumento de clorofila em plantas de *A. thaliana*, em baixas concentrações. Diante dos dados de fotossíntese (gráfico 2), pode-se notar um valor expressivo para a dose $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$, em relação às demais doses. As hipóteses que sustentam efeitos positivos na produção de biomassa pela indução de maior taxa fotossintética (RAMOS et al., 2016), onde maior teor de umidade também foi encontrado para a dose $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Esses resultados corroboram com Wang et al. (2014), onde a adição de lantânio, em baixa dose, ainda que em solução nutritiva, proporcionou um aumento da taxa fotossintética em arroz, e em estimulação da taxa fotossintética e teor total de clorofila em soja (OLIVEIRA et al., 2015).

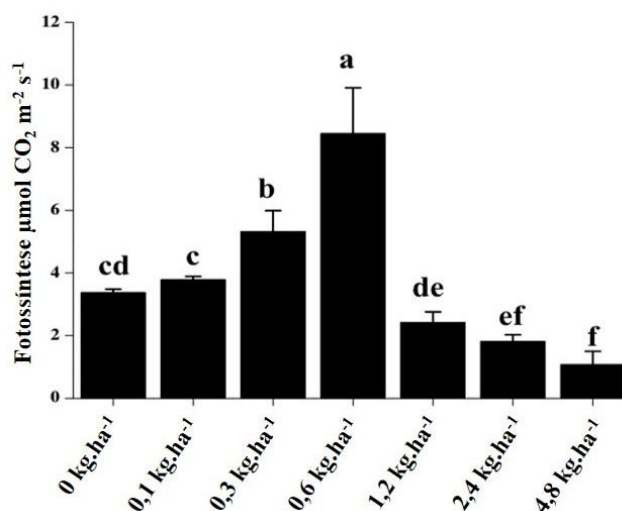


Gráfico 2: Teor de fotossíntese dos cafés pulverizado com diferentes doses de elementos terra raras. Muzambinho, 2017 e 2018. *Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente entre si, com 5% de probabilidade, pelo teste de Bonferroni.

Em concentrações tóxicas, a aplicação de ETRs pode estimular a produção da clorofilase, enzima responsável pela degradação da clorofila, levando a danos ao aparato fotossintético e, conseqüentemente, a prejuízos na atividade fotossintética (SHYAM e AERY, 2012), assim como visto na dose de 4,8 kg.ha⁻¹.

CONCLUSÕES

1 De acordo com os resultados obtidos nessa pesquisa, a melhor dose apresentada para maioria dos parâmetros foi a de 0,6 kg.ha⁻¹. As doses de 2,4 e 4,8 kg ha⁻¹ foram as doses com menor índice em todos parâmetros, demonstrando um efeito tóxico à planta.

2 Os ETRs tiveram ação dose dependente, onde as menores doses estimulam, e as maiores se comportam tóxicamente. Esses estudos pioneiros com ETRs revelam a necessidade de mais pesquisas para um melhor entendimento dos efeitos do *mix* de lantânio, neodímio, praseodímio e cério, aplicados via foliar, na cultura do café no Brasil.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- D'AQUINO, A. L.; MORGANA, M.; CARBONI, M. A.; STAIANO, M.; ANTISARI, M. V.; MARILENA, R.; LORITO, M.; VINALLE, F.; ABADI, K. M.; WOO, S. L. Effect of some rare earth elements on the growth and lanthanide accumulation in different *Trichoderma* strains. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 41, p. 2406-2413, 2009.
- EMMANUEL, E. S. C.; RAMACHANDRAN, A. M.; RAVINDRAN, A. D.; NATESAN, M.; MARUTHAMUTHU, S. Effect of some rare earth elements on dry matter partitioning, nodule formation and chlorophyll content in *Arachis hypogaea* L. plants. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 4, n. 9, p. 670-675, 2010a.
- EMMANUEL, E. S. C.; ANADKUMAR, B.; NATESAN, M.; MARUTHAMUTHU, S. Efficacy of rare earth elements on the physiological and biochemical characteristics of *Zea mays* L. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 4, n. 4, p. 289-294, 2010b.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- GONG, X.; HONG, M.; WANG, Y.; ZHOU, M.; CAI, J.; LIU, C.; GONG, S.; HONG, F. Cerium relieves the inhibition of photosynthesis of maize caused by manganese deficiency. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v. 141, n. 1/3, p. 305-316, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET (2015). Gráficos dos parâmetros diários da estação meteorológica de Lavras-MG em janeiro 2015. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em 21 de maio 2019.
- HONG, F. et al. The effect of cerium (III) on the chlorophyll formation in spinach. **Biological Trace Element Research**, Clifton, v. 89, n. 3, p. 263-276, 2002.
- IUPAC. **NOMENCLATURE OF INORGANIC CHEMISTRY-IUPAC**: Recommendations. [s.l.: s.n.]. p. 366, 2005.
- OLIVEIRA, C.; RAMOS, S. J.; SIQUEIRA, J. O.; FAQUIN, V.; CASTRO, E. M.; AMARAL, D. C. TECHIO, V. H.; COELHO, L. C.; SILVA, P. H. P.; SCHNUG, E.; GUILHERME, L. R. G. Bioaccumulation and effects of lanthanum on growth and mitotic index in soybean plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 122, p. 136-144, 2015.
- RAMOS, S. J.; DINALI, G. S.; OLIVEIRA, C.; MARTINS, G. C.; MOREIRA, C. G.; SIQUEIRA, J. O. GUILHERME, L. R. G. Rare earth elements in the soil environment. **Current Pollution Reports**, v. 2, p. 28–50. 2016a.
- SHYAM, R.; AERY, N. C. Effect of cerium on growth, dry matter production, biochemical constituents and enzymatic activities of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v. 12, n. 1, p. 14, 2012.
- WANG, X.; LIN, Y.; XU, H.; ZHAO, F. Cerium toxicity, uptake and translocation in *Arabidopsis thaliana* seedlings. **Journal of Rare Earths**, v. 30, n. 6, p. 579-585, 2012.
- WANG, L.; WANG, W.; ZHOU, Q.; HUANG, X. Combined effects of lanthanum (III) chloride and acid rain on photosynthetic parameters in rice. *Chemosphere*, v. 112, p. 355-361, 2014.
- WEN, B.; YAUN, D.; SHAN, X. The influence of rare earth element fertilizer application on the distribution and bioaccumulation of rare earth elements in plants under field conditions. **Chemical Speciation and Bioavailability**, v. 13, n. 2, p. 39-48, 2001.
- ZHOU, J.; LANPING, G.; JI, Z.; ZHOU, S.; YANG, G.; ZHAO, M.; HUANG, L. Effects of LaCl₃ on photosynthesis and the accumulation of tanshinones and salvianolic acids in *Salvia miltiorrhiza* seedlings. **Journal of Rare Earths**, v. 29, n. 5, p. 494-498, 2011.