



Trocas gasosas em cafeeiros supridos com Mg⁽¹⁾

Kaio Gonçalves de Lima Dias⁽²⁾; Paulo Tácito Gontijo Guimarães⁽³⁾; Antônio Eduardo Furtini Neto⁽⁴⁾; Maria Ligia de Souza Silva⁽⁵⁾; Cesar Henrique Caputo de Oliveira⁽⁶⁾; Celso Magalhães de Lima Dias⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Consorcio Pesquisa Café.

⁽²⁾ DSc. Pesquisador Bolsista; Universidade Federal de Lavras / EPAMIG ⁽³⁾ DSc. Pesquisador; EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS; Lavras - MG; paulotgg@epamig.ufla.br; ^(4,5) Professor(a); Universidade Federal de Lavras; ⁽⁶⁾ Mestrando; Universidade Federal de Lavras; ⁽⁷⁾ Graduando; Universidade Federal de Lavras.

RESUMO: Os elevados níveis de irradiância observados no campo têm gerado problemas de fotoinibição e em casos mais graves de fotooxidação, culminando em sintomas de escaldadura e perdas de produtividade na cultura do cafeeiro. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar os efeitos do Mg nas trocas gasosas de mudas de *Coffea arabica* L., cultivadas em solução nutritiva, sob o efeito de diferentes níveis de irradiância. O experimento foi conduzido em condições controladas, em câmaras de crescimento e em solução nutritiva, na Universidade Federal de Lavras - UFLA. Foram utilizadas mudas de cafeeiros da cultivar Mundo Novo IAC 379/19. Os tratamentos consistiram na aplicação de cinco doses de Mg (0; 48; 96, 192 e 384 mg L⁻¹) e na exposição das mudas à quatro níveis de irradiância (80, 160, 240 e 320 $\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, arranjado em um fatorial 5x4, com 6 repetições e uma planta por unidade experimental, totalizando 120 parcelas. Tanto as doses de Mg quanto os níveis de irradiância provocam alterações nas trocas gasosas do cafeeiro. O comportamento linear da fotossíntese em relação aos níveis de irradiância mostra que estes foram baixos para a cultura. A maior taxa de assimilação de CO₂, menor transpiração e maior eficiência de uso da água foram observados na dose de 250 mg L⁻¹ aproximadamente, sugerindo ser a dose ótima para os níveis de irradiância fornecidos.

Termos de indexação: Nutrição do cafeeiro, fotoinibição, fotoproteção.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro é originalmente uma planta de sub-bosque, entretanto o cultivo a pleno sol é a principal modalidade praticada no Brasil (Damatta et al., 2007). A cultura exhibe as menores taxas de assimilação líquida de CO₂, registradas para espécies lenhosas C₃, cultivadas sob clima tropical (Larcher, 2000). Em função do amplo controle estomático sobre a fotossíntese, as folhas do

cafeeiro são saturadas por irradiâncias relativamente baixas, que variam de 300 a 700 $\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Damatta et al., 2007).

Portanto, é comum a ocorrência de irradiâncias acima do ponto de saturação da fotossíntese. Quando as folhas são expostas a uma quantidade de luz maior do que podem utilizar, o centro de reação do fotossistema II (FSII) é inativado e, frequentemente, é danificado. As clorofilas em seu estado excitado, devido à absorção de excesso de energia luminosa, podem reagir com o oxigênio molecular e levar à produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que danificam o aparelho fotossintético (Taiz & Zeiger, 2009).

Esse estresse gerado pelo excesso de luz é conhecido como fotoinibição, que pode, em casos mais graves, gerar a fotooxidação com danos visíveis no tecido foliar. Sintomas de fotooxidação, conhecidos na cafeicultura como escaldadura, têm sido cada vez mais frequentes, principalmente na face frontal da linha de plantio (voltada para o "sol da tarde") em regiões do cerrado (Oliveira et al., 2012).

Numerosos processos fisiológicos e bioquímicos, fundamentais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, são adversamente afetados pela deficiência de Mg. Resultados recentes de pesquisa demonstraram que plantas deficientes em Mg são mais susceptíveis aos danos fotooxidativos, sugerindo que, sob níveis elevados de irradiância, as plantas possuem alto requerimento fisiológico de Mg (Cakmak & Yazici, 2010).

Sendo assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar os efeitos do Mg nas trocas gasosas de mudas de *Coffea arabica* L. em solução nutritiva, sob o efeito de diferentes níveis de irradiância.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob condições controladas, em câmaras de crescimento e cultivo em solução nutritiva, no Departamento de Fitopatologia da UFLA. Os tratamentos consistiram da aplicação de cinco doses de Mg [0; 48 (dose



central de da solução de Hoagland & Arnon, 1950); 96, 192 e 384 mg L⁻¹] e na exposição das mudas à quatro níveis de irradiância (80, 160, 240 e 320 $\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O nível de irradiância mais baixo simula condições de baixa intensidade fotossintética, como no interior do dossel das plantas, em cafeeiros sombreados ou em cafeeiros em plantios adensados; o mais alto (320 $\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{s}^{-1}$) simula condições de produção plena de fotossíntese. As outras duas irradiâncias intermediárias (160 e 240 $\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{s}^{-1}$) simulam um gradiente de incidência de luz que existe nas plantas e foram medidas para possibilitar o ajuste de equações de regressão.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados num arranjo fatorial 5x4, com 6 repetições e uma planta por unidade experimental, totalizando 120 parcelas.

Aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos foi feita a avaliação com o IRGA. Para as avaliações ecofisiológicas utilizou-se o analisador de gás por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA) (IRGA) em folhas completamente expandidas, onde determinaram-se as seguintes variáveis: Concentração interna de CO₂ (Ci $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), condutância estomática (gs mol de H₂O m⁻² s⁻¹), déficit pressão de vapor (DPV kPa) e taxa de assimilação de CO₂ (Fotossíntese) (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Os dados foram avaliados mediante análise de variância pelo teste 'F'; quando significativo, realizou-se análise de regressão para as doses de Mg em cada nível de irradiância. Utilizou-se para as análises o software Sisvar (Ferreira, 2011) e para confecção dos gráficos o SigmaPlot 11.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as doses de Mg e os níveis de irradiância para concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E) e fotossíntese (A) (**Figura 1**).

A Ci decresceu linearmente com o aumento das doses de Mg e o comportamento foi quadrático decrescente para os níveis de irradiância (**Figuras 1A e 1B**). O decréscimo na Ci em função das doses de Mg ocorreu em função da melhor utilização do CO₂, em consequência da maior eficiência do aparato fotossintético (**Figura 1E**). Numa situação onde a taxa fotossintética é considerada maior, a concentração de CO₂ tende a ser menor, existindo uma relação inversamente proporcional entre Ci e taxa fotossintética (Concenço et al., 2008). A ligação do Mg com a Rubisco aumenta a afinidade pelo CO₂ e duplica a velocidade máxima de reação (Sugiyama et al., 1968).

Os menores valores de Ci observados nos níveis de irradiância intermediários, podem estar relacionados às maiores temperaturas foliares observadas nestes níveis de irradiância. De acordo Damatta et al., (2007) o aumento na temperatura foliar em cafeeiros pode ocasionar aumento progressivo na fotorrespiração e na concentração interna de CO₂.

Para a transpiração (E), o comportamento foi quadrático decrescente com o aumento das doses de Mg (**Figura 1C**). De acordo com Mariano et al. (2009), a taxa de transpiração nas folhas é determinada especialmente pela radiação, déficit de saturação e pela condutância estomática (gs).

A fotossíntese (A) apresentou comportamento quadrático crescente para as doses de Mg, o ponto de máximo foi de 5,25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ obtido com a aplicação de 250 mg L⁻¹ de Mg. Em relação aos níveis de irradiância o comportamento foi linear, conforme aumentaram os níveis de irradiância a fotossíntese também aumentou (**Figuras 1E e 1F**).

O Aumento da fotossíntese com a aplicação das doses de Mg, está relacionado às diversas funções-chave que este nutriente desempenha e, ou regula na planta, como: fotofosforilação (formação de ATP nos cloroplastos); fixação fotossintética do CO₂; síntese proteica; formação de clorofila; carregamento do floema; separação e utilização de fotoassimilados; geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), fotooxidação nos tecidos foliares e ativação enzimática. O Mg é o nutriente que ativa mais enzimas no reino vegetal. Alguns exemplos de enzimas ativas pelo Mg são as ATPases e a Rubisco (Cakmak & Yazici, 2010). Com o início do estresse causado pela deficiência de Mg há acúmulo de carboidratos nas folhas (Silva et al., 2014), o que pode alterar o metabolismo fotossintético e reduzir o uso da energia luminosa absorvida na fotossíntese.

O decréscimo da fotossíntese a partir da dose 250 mg L⁻¹ de Mg, pode estar relacionado ao desequilíbrio causado pelo excesso de Mg, principalmente pela redução na absorção de K. Segundo Prado (2008), o K é extremamente importante na ativação da função carboxilase da Rubisco. Aumentos nas taxas fotossintéticas em função do suprimento adequado de K têm sido atribuídos a esta função (Catuchi et al., 2011).

Em plantas C3 as taxas de fotossíntese geralmente variam de 10 a 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Taiz & Zeiger, 2009). Entretanto, devido às limitações à fotossíntese impostas pelo suprimento de CO₂, os cafeeiros exibem baixas taxas de assimilação líquida de CO₂, de 4-11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Damatta et al., 2007). Nesse sentido, os valores de 4 a 6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, obtidos neste trabalho, podem ser considerados normais para a cultura, mesmo com os baixos níveis



de irradiância fornecidos e com os baixos valores de gs observados. Em diversos outros trabalhos com cafeeiros foram observados valores de fotossíntese entre 4 e 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, corroborando com os resultados aqui encontrados (Jifon & Syvertsen, 2003)

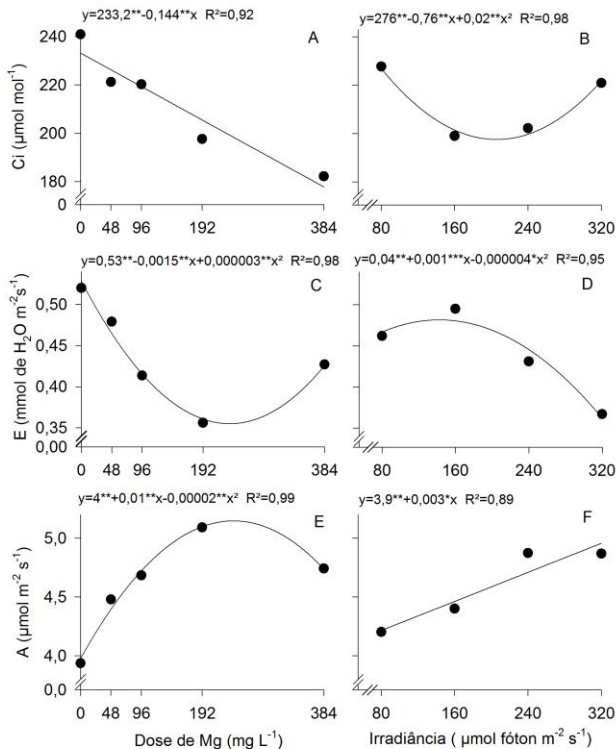


Figura 1 Concentra\u00e7\u00e3o interna de CO₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) (A e B), transpira\u00e7\u00e3o (E) (mmol de H₂O m⁻²s⁻¹) (C e D) e taxa de assimila\u00e7\u00e3o de CO₂ (Fotoss\u00edntese) (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (E e F), em mudas de cafeeiro em fun\u00e7\u00e3o da aplica\u00e7\u00e3o de diferentes doses de Mg, e de diferentes n\u00edveis de irradi\u00e2ncia. Significativo, pelo teste de t, 5% (*) e 1% (**)

Em v\u00e1rias regi\u00f5es produtoras de caf\u00e9, sintomas de escaldadura t\u00eam sido observados. O processo de fotoinibi\u00e7\u00e3o, antecedente a fotooxida\u00e7\u00e3o, deve ser ainda mais comum, uma vez que, o fluxo de f\u00f3tons geralmente varia de 800-1200 $\mu\text{mol f\u00f3ton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do in\u00edcio da manh\u00e3 at\u00e9 o meio dia e pode atingir 2000 $\mu\text{mol f\u00f3ton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no per\u00edodo da tarde (Larcher, 2000) e as folhas do cafeeiro s\u00e3o saturadas por irradi\u00e2ncias relativamente baixas, que variam de 300 a 700 $\mu\text{mol f\u00f3ton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Damatta et al., 2007). A fotorrespira\u00e7\u00e3o consiste em um mecanismo efetivo contra a fotoinibi\u00e7\u00e3o. O Mg atua diretamente neste processo, onde ocorre a dissipac\u00e3o do excesso de ATP e NADPH produzidos durante a fase fotoqu\u00edmica da fotoss\u00edntese (Wu, et al., 1991). A transfer\u00eancia de energia das clorofilas para alguns caroten\u00f3ides do ciclo da xantofila leva \u00e0 dissipac\u00e3o

de energia na forma de calor, que ocorre no complexo coletor de luz do FSII (Demmig-Adams & Adams, 1992).

Apesar da taxa fotossint\u00e9tica ter aumentado com o aumento da irradi\u00e2ncia (**Figura 1F**), o aumento da atividade da SOD e da APX (Dias, 2015) indicam que os maiores n\u00edveis de irradi\u00e2ncia deram in\u00edcio a um processo de estresse oxidativo, mas n\u00e3o suficiente para causar redu\u00e7\u00e3o na fotoss\u00edntese. De acordo com Kaiser (1976), a atua\u00e7\u00e3o das enzimas do complexo antioxidante da planta, antes do aparecimento do sintoma visual da defici\u00eancia de Mg, retarda os danos fotooxidativos causados pelas EROs e a inativa\u00e7\u00e3o de enzimas fotossint\u00e9ticas, fazendo com que a atividade fotossint\u00e9tica seja reduzida somente nas fases mais avan\u00e7adas da defici\u00eancia.

CONCLUS\u00d5ES

Tanto as doses de Mg quanto os n\u00edveis de irradi\u00e2ncia provocam altera\u00e7\u00f5es nas trocas gasosas do cafeeiro.

O comportamento linear da fotoss\u00edntese em rela\u00e7\u00e3o aos n\u00edveis de irradi\u00e2ncia mostra que estes foram baixos para a cultura.

A maior taxa de assimila\u00e7\u00e3o de CO₂ foi observada na dose de 250 mg L⁻¹ aproximadamente, sugerindo ser a dose \u00f3tima para os n\u00edveis de irradi\u00e2ncia fornecidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, \u00e0 CAPES, \u00e0 FAPEMIG e \u00e0 EPAMIG pelo apoio.

REFER\u00caNCIAS

- CAKMAK, I. & YAZICI, A. M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops with Plant Food**, Norcross, v. 94, n. 2, p. 23-25, 2010.
- CATUCHI, T.A. et al. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ci\u00eancia Rural**, Santa Maria, v.31, n. 3, p.373-378, mar. 2011.
- CONCEN\u00c7O, G. et al. Fotoss\u00edntese de bi\u00f3tipos de azev\u00e9m sob condi\u00e7\u00e3o de competi\u00e7\u00e3o. **Planta Daninha**, Vi\u00e7osa, v. 26, n. 3, p. 595-600, jun. 2008.
- DIAS, K. G. L. **Nutri\u00e7\u00e3o, bioqu\u00edmica e fisiologia de cafeeiros supridos com magn\u00e9sio**. 2015.118 p. Tese (Doutorado em Ci\u00eancia do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.



DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 485-510, Nov. 2007.

DEMMIG-ADAMS, B. & ADAMS, W.W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.43, n. 3, p.599-626, June 1992.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

HOAGLAND, D. R. & ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. California: Agricultural Experiment Station, 1950.(Circular, 347).

JIFON, J. L. & SYVERTSEN, J. P. Moderate shade can increase net gas exchange and reduce photoinhibition in citrus leaves. **Tree Physiology**, Oxford, v. 23, n.2, p. 119-127, May 2003.

KAISER, M. W. The effect of hydrogen peroxide on CO₂ fixation of isolated chloroplast. **BiochimicaetBiophysica Acta**, Amsterdam, v. 440, n. 3, p. 476–482, Sept. 1976.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

MARIANO, K. R. et al. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em Myracrodruonurundeuva fr. All. submetida ao déficit hídrico. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.4, p. 72-77, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, K. M. G. et al. Modelagem para estimativa da orientação de linhas de plantio de cafeeiros. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.2, p. 293-305, Mar./Apr. 2012.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora da Unesp, 2008.

SILVA, D. M. et al. Physiological and biochemical impacts of magnesium-deficiency in two cultivars of coffee. **Plant and Soil**, The Hague, v. 128, n. 2, p. 133-50, Sept. 2014.

SUGIYAMA, T.; NAKYAMA, N.; AKASAWA, T. Structure and function of chloroplast proteins. V. Homotropic effect of bicarbonate in RuBP carboxylase relation and the mechanism of activation by magnesium ions. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v.126, n. 3, p.734-745, Sept. 1968.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

WU, J.; NEIMANIS, S.; HEBER, U. Photorespiration is more effective than the Mehler reaction in protecting the photosynthetic apparatus against photoinhibition. **Botanica Acta**, Stuttgart, v.104, p.283-291, 1991.