

Estresse por alumínio no orégano em cultivo hidropônico

Julian Rodrigues Silva^{1*}, Karoline Paulino Costa², Francine Souza Alves da Fonseca³, Iago Thomas do Rosário Vieira², Ernane Ronie Martins⁴, Cândido Alves da Costa⁴

Resumo

O orégano é uma planta medicinal aromática, utilizada ao longo da história humana com objetivo de conservar as propriedades dos alimentos, sendo considerado um antioxidante natural. Essa característica está associada às substâncias que são produzidas durante seu metabolismo secundário, e tal processo é influenciado por fatores adversos aos quais a planta está submetida. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência do estresse por alumínio na produção de biomassa e metabolitos secundários de orégano (*Origanum vulgare* L.) cultivado em sistema hidropônico. Foi utilizado o sistema NFT de cultivo, com cinco doses de alumínio na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0 - controle; 1,25; 2,5; 3,25; 5 e 7 mg L^{-1} de Al) como tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Ao final do ciclo de cultivo foi avaliada a produção de biomassa, o metabolitos secundário (prolina livre e flavonoides totais), atividade antioxidante e acúmulo de nutrientes nas folhas. As plantas submetidas ao estresse por alumínio apresentaram redução na produção de biomassa, teor de flavonoides e acúmulo de nutrientes, com aumento no teor de prolina livre e atividade antioxidante. Assim, é possível concluir que o estresse por alumínio influencia a produção de biomassa e o metabolismo secundário do orégano.

Palavras-chave: *Origanum vulgare* L. Plantas condimentares. Antioxidante. Metabolismo secundário. Flavonoides.

Aluminum Stress in the Oregano in Hydroponic Cultivation

Abstract

Oregano is an aromatic medicinal plant used throughout human history in order to preserve the properties of foods, being considered a natural antioxidant. This characteristic is associated with substances that are produced during their secondary metabolism, and such process is influenced by adverse factors to which the plant is submitted. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of aluminum stress on the production of biomass and secondary metabolites of oregano (*Origanum vulgare* L.) cultivated in a hydroponic system. The NFT culture system analyzed five doses of aluminum in the form of $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0 - control; 1,25; 2,5; 3,25; 5 and 7 mgL^{-1} of nutrient solution) as treatments, in a completely randomized design, with four replications. At the end of the crop cycle the biomass production was evaluated to verify the influence on the secondary metabolism, the levels of free proline, total flavonoids and antioxidant

¹Mestre em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais, Campus de Montes Claros, MG

*Autor para correspondência: julian.ufmg@gmail.com

²Mestrando(a) em Produção Vegetação na Universidade Federal de Minas Gerais, Campus de Montes Claros, MG

³Pesquisadora na Universidade Federal de Minas Gerais, Campus de Montes Claros, MG

⁴Docente da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus de Montes Claros, MG

Recebido para publicação em 24 de abril de 2017

Aceito para publicação em 28 de maio de 2017

activity. In addition, the accumulation of nutrients in the leaves was evaluated. The plants submitted to aluminum stress had a reduction in biomass production, flavonoid content and nutrient accumulation, with an increase in free proline content and antioxidant activity. Thus, it is possible to conclude that aluminum stress influences the production of biomass and the secondary metabolism of oregano.

Keywords: *Origanum vulgare* L.. Condiment plants. Antioxidant. Secondary metabolism. Flavonoids.

Introdução

Orégano (*Origanum vulgare* L.) é uma planta medicinal que possui atividade antioxidante, antibactericida e inseticida (BASLI *et al.*, 2012; KHALFI *et al.*, 2008), e devido a essas características, tem crescido o seu consumo entre a população. A sua ingestão como condimento, tem aumentado principalmente devido à presença de metabólitos secundários, como os flavonoides, que tornam o orégano um antioxidante natural (BENCKIKHA *et al.*, 2013).

Os flavonoides fazem parte da classe dos metabólitos secundários, e a produção destes é influenciada por fatores como: temperatura, luminosidade, tipo de cultivo e disponibilidade de nutrientes (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Entre os sistemas de cultivo, a prática hidropônica tem crescido. A hidroponia é uma técnica de cultivo protegido onde se faz o uso de solução nutritiva, com ou sem substrato para a fixação das raízes da planta. Por meio desta técnica é possível controlar fatores ambientais que limitam a produção vegetal, aumentar a produtividade, ter maior controle do ambiente de cultivo e da nutrição das plantas (SILVA *et al.*, 2014).

Assim como o sistema de cultivo influencia no metabolismo secundário, outros fatores como os níveis de nutrientes disponíveis para as plantas e a toxidez por metais também podem influenciar. O alumínio é o metal mais abundantes na crosta terrestre, e o seu excesso no solo pode ser tóxico às plantas, interferindo nas rotas metabólicas (BENCKIKHA *et al.*, 2013). Esse metal pode interferir no teor e na composição química do óleo essencial, e na produção de flavonoides (MOSSI

et al., 2011). Além disso, o estresse causado pelo alumínio influi no acúmulo de prolina pelas plantas (VALDÉS *et al.*, 2012).

A prolina é um dos 20 aminoácidos presentes nas proteínas de todos os organismos vivos, e tem se destacado como importante osmoprotetor (MOLINARI, 2007). Quando estão sob condições ambientais adversas, os vegetais utilizam o ajustamento osmótico, que é caracterizado por um acúmulo intracelular de solutos, como mecanismo eficiente para a tolerância ao estresse (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2007).

Por permitir maior controle dos fatores envolvidos no desenvolvimento da planta, o cultivo hidropônico é uma alternativa para cultivo de plantas condimentares, como o orégano. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência do estresse por alumínio na produção de biomassa e metabólitos secundários de orégano (*Origanum vulgare* L.) cultivado em sistema hidropônico.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA/UFMG). Os tratamentos consistiram em cinco doses de alumínio, sendo 0 (controle), 1,75; 3,5; 5,25 e 7,0 mg L⁻¹ de alumínio (aplicado na forma de AlCl₃.6H₂O) em solução nutritiva, com quatro repetições, e em delineamento inteiramente casualizado. O sistema hidropônico adotado foi o NFT (*"Nutrient Film Technic"*), sendo a solução nutritiva utilizada a proposta por Furlani (1998), diluída em 50%, conforme recomendado por Santos *et al.* (2008) (TABELA 1).

Tabela 1 – Constituintes químicos para o preparo da solução nutritiva, conforme proposta do Instituto Agronômico de Campinas (Furlani 1998), diluídos em 50% e utilizados no cultivo do orégano (*Origanum vulgare* L.)

Fertilizante	g L ⁻¹
Nitrato de cálcio	0,38
Nitrato de potássio	0,25
Sulfato de magnésio	0,20
	mg L ⁻¹
Fosfato monoamônio (MAP)	5,76
Sulfato de cobre	0,08
Sulfato de zinco	0,25
Sulfato de manganês	0,75
Ácido bórico	0,75
Molibdato de sódio	0,08
Rexolin M48(EDDHMA)	7,97

Fonte: Adaptada de Furlani (1998).

A sementeira foi realizada em espuma fenólica, mantida em bandeja plástica e umedecida com solução nutritiva, na metade da concentração indicada na tabela 1 (25% da solução original de Furlani 1998). Ao final de sete dias, as plântulas contendo o segundo par de folhas, foram transferidas para um recipiente para o crescimento inicial (perfis de 50 mm x 2 m, com espaçamento de 10 cm entre perfis e entre orifícios). O sistema foi alimentando por uma minibomba de vazão igual a 0,15 L s⁻¹, acoplado a um reservatório de 60L contendo a solução nutritiva na concentração de 25 %, com pH mantido entre 6 e 6,5. O temporizador responsável por acionar o sistema era ativado a cada 15 minutos, no período de 6 às 20h e, a cada 45 min, entre 20 e 6h, permanecendo ligado por 15 minutos.

Após 21 dias, as plantas foram transferidas para o leito definitivo de produção, onde foram aplicadas as doses de Al, 0 (controle), 1,75; 3,5; 5,25 e 7,0 mg L⁻¹ de Al (aplicado na forma de AlCl₃.6H₂O). A estrutura foi composta por bancadas de três metros de comprimento, por 1,5 m de largura, utilizando perfis de 100mm com espaçamento de 18 cm entre canais, 25 cm entre os furos, e inclinação de 2%. Para cada dois perfis, foi utilizado um reservatório independente de 30L, conectado a bomba (vazão 0,35 L s⁻¹) acionada com a mesma programação da fase de berçário.

Nesta etapa, a solução utilizada tinha

concentração de 50 % (TABELA 1), com a concentração de fósforo reduzida (1,5 mg L⁻¹) a fim de evitar a precipitação do alumínio (Al) na forma de fosfato de alumínio (AlPO₄). Diariamente, os reservatórios foram completados com água deionizada até o nível inicial, e realizadas medições diretas de condutividade elétrica (condutivímetro modelo HI-98127- HANNA instruments) e pH (phmetro modelo HI-98311- HANNA instruments) da solução nutritiva, que era renovada a cada quinze dias. O pH da solução nesta etapa foi mantido em 4±0,2.

Aos 92 dias após a sementeira foi realizada a colheita das plantas. Nessa ocasião foi determinada a massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca do caule (MFC) e massa fresca total (MFT). O material foi acondicionado em sacos de papel e levado à estufa de circulação de ar (modelo N480-D -Nova Ética) a 45°C, para determinação da massa seca total (MST), do caule (MSC) e das folhas (MSF).

Para a análise do teor de prolina livre foi utilizada a metodologia adaptada de Bates, Waldren e Teare (1973). Amostras de 0,5g de folhas frescas de cada parcela foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 10 mL de solução de ácido sulfosalicílico (3 %), e em seguida filtradas em papel de filtro quantitativo. Em tubos de ensaio foram adicionados 2 mL de

cada um dos materiais homogeneizados mais 2 mL de ninhidrina e ácido acético glacial, que foram levados em banho maria por 1 hora (temperatura de 100°C) e, seguidamente ao banho de gelo. Na sequência, foram acrescentados 4 mL de tolueno e feita a agitação por 20 segundos, para posterior leitura da absorbância a 520 nm em espectrofotômetro (modelo: Micronal B582), utilizando o tolueno como branco. A curva de calibração da prolina em etanol, foi feita com concentrações variando de 0,2 a 1 µg mL⁻¹, com intervalo de 0,2 entre os pontos.

O extrato utilizado para as análises de flavonoides totais e atividade antioxidante foi preparado a partir de folhas secas, na concentração de 50 mg mL⁻¹ utilizando álcool etílico absoluto, deixado em agitação por 24h, e posteriormente filtrado em papel filtro quantitativo.

A análise de flavonoides foi feita a partir de solução estoque de rutina na concentração de 1 mg mL⁻¹ em etanol absoluto, utilizada para preparo de curva padrão com 5 pontos (0,01, 0,015, 0,020, 0,025 e 0,30 mg mL⁻¹). Para a reação foram preparados 25 mL de solução aquosa de AlCl₃ (5%), utilizada para reação com as diferentes diluições de rutina, em tubos de ensaio na proporção de 1:1 por 30 minutos, e posteriormente usada para leitura em espectrofotômetro a 405 nm, usando como branco o etanol mais água. Na análise dos extratos, foram utilizados tubos de ensaio onde foram adicionados 0,25 mL do extrato, 4,75 mL de etanol e 5 mL de AlCl₃, essa solução foi deixada ao abrigo da luz por 30 minutos, e após isso fez-se a leitura em espectrofotômetro (405 nm) em triplicata (BENCHIKHA *et al.*, 2013). Com base na equação gerada pela curva padrão, foram obtidos os valores das concentrações de Rutina Equivalente (RE) nas soluções (mg mL⁻¹), posteriormente convertido em g mL⁻¹, com base na massa seca das parcelas.

A avaliação da atividade antioxidante pelo método de DPPH foi feita de acordo com a metodologia de Teixeira *et al.* (2013). A solução estoque na concentração de 25 mg mL⁻¹ do extrato em etanol absoluto foi preparada, da qual foram retiradas alíquotas de 1, 2, 3, 4 e 5 mL e transferidas para tubos de ensaio, os quais teve o volume completado para 5 mL. Alíquotas de

0,06 mL de cada tubo foram retiradas e acrescido com 6 mL de solução etanólica de DPPH (0,024 mg mL⁻¹), os tubos contendo esta solução foram deixados ao abrigo da luz por 30 minutos, e em seguida realizada a leitura em espectrofotômetro a 517 nm, sendo o DPPH em etanol utilizado como branco. Para cada ponto de diluição foi calculada a capacidade de reduzir o DPPH em porcentagem de inibição, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Inibição (\%)} = ((A_b - A_r) / A_b) \times 100$$

Inibição% = Capacidade de reduzir o DPPH em %

A_b = Absorbância do branco

A_r = Absorbância da reação

A curva da capacidade de reduzir o DPPH (CRDPPH%) em função das concentrações de cada extrato na reação (µg mL⁻¹) foi feita, e com base na equação da regressão linear plotada, considerando a CRDPPH em 50%, foi calculado o coeficiente de inibição (IC₅₀).

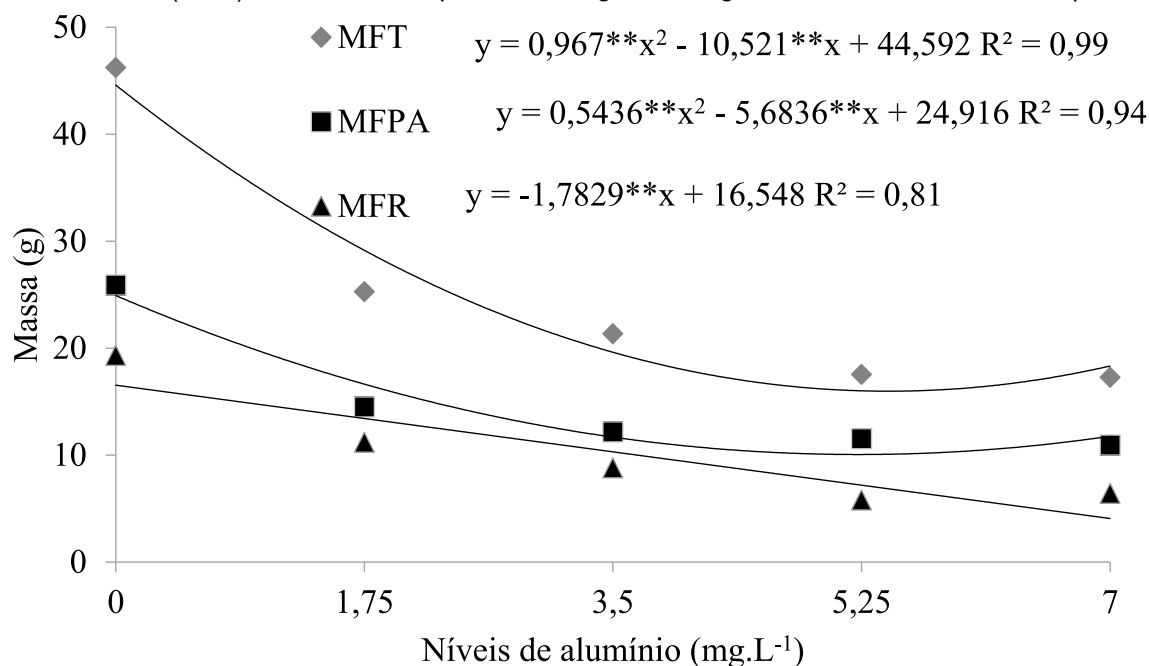
Em amostras de folhas de cada unidade experimental determinou-se os teores de macro e micronutrientes conforme metodologia descrita por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997). A partir dos teores de nutrientes da produção de matéria seca, estimou-se os acumulos de nutrientes, que foram expressos em mg planta⁻¹ e µg planta⁻¹ para macronutrientes e micronutrientes respectivamente. Durante a condução do experimento, realizou-se inspeções visuais para constatar o aparecimento de sintomas de deficiência nutricional.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, foram ajustadas equações de regressão, testando-se os coeficientes de regressão pelo Teste t, por meio do software SAEG.

Resultados e discussão

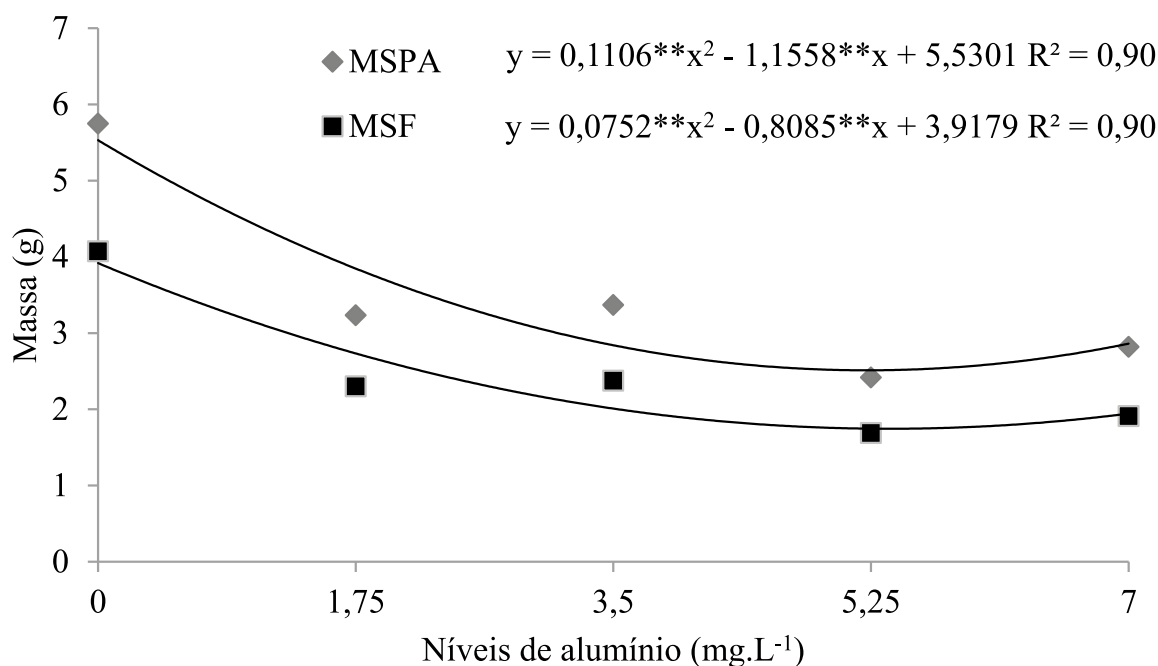
Os resultados mostram que o estresse por alumínio ocasiona redução na produção de biomassa pelo orégano. Equações quadráticas foram ajustadas para as variáveis MFT, MFPA, MSPA e MSF, já para MFR, foi ajustada equação linear (GRÁFICOS 1 e 2).

Gráfico 1 – Produção de massa fresca total (MFT), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR), no cultivo hidropônico de *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Gráfico 2 – Produção de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das folhas (MSF), no cultivo hidropônico de *Origanum vulgare* L., submetido a estresse por Al.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

As plantas que foram submetidas ao estresse por alumínio, tiveram seu crescimento reduzido quando comparado ao tratamento controle (dose 0), sendo que a dose mais concentrada de Al (7 mg.L⁻¹) levou à redução de 35%

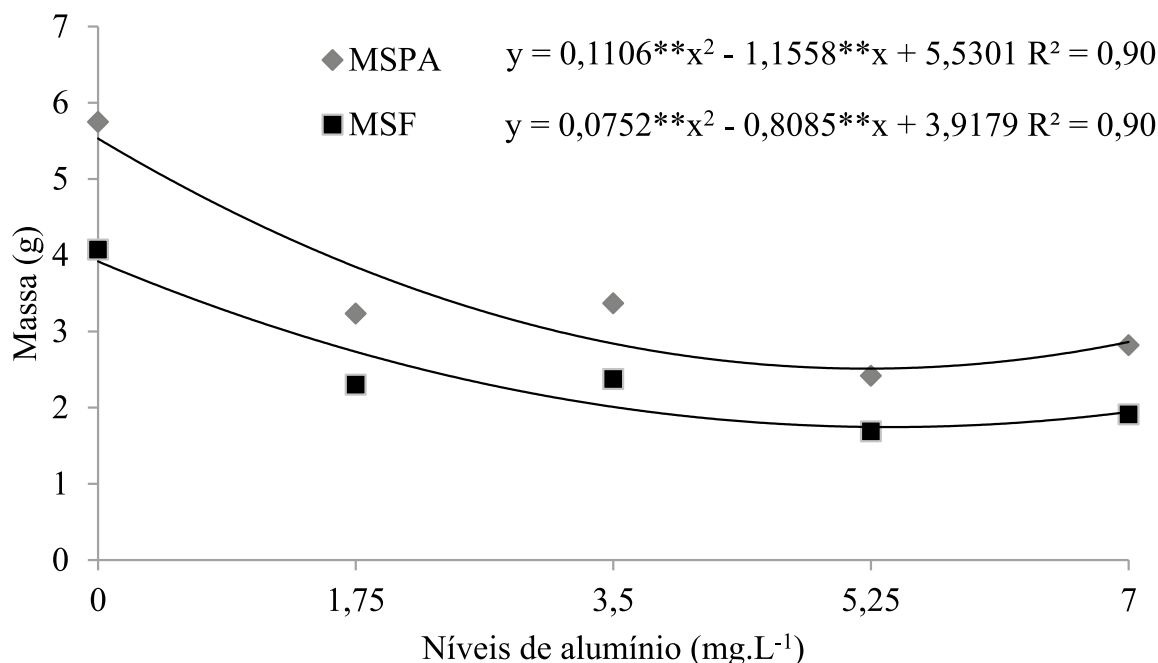
na produção de MFR. Os valores de biomassa encontrados neste estudo, estão abaixo dos relatados por Corrêa *et al.* (2012), que estudaram a efeito do sombreamento na produção de *O. vulgare*. A redução na produção de biomassa está

relacionada às crescentes doses de alumínio, uma vez que este elemento inibe o crescimento radicular, reduzindo a área de absorção das raízes e ocasionando redução no desenvolvimento da parte aérea (EPSTEIN; JUNIOR-BLOOM, 2006). Mesmo levando à redução no crescimento da planta, o intervalo de doses de Al utilizado não

foi suficiente para causar a morte das plantas, resultado semelhante ao observado por Mossi *et al.* (2011) para *Cunila galioides*, em intervalo de concentração semelhante.

Os teores de prolina livre variaram entre 0,46 (dose 0) e 0,6 $\mu\text{mol.g}^{-1}$ (dose (7 mg.L^{-1}) de material fresco (GRÁFICO 3).

Gráfico 3 – Teor de prolina livre no cultivo hidropônico de *Origanum vulgare* L., submetido a estresse por Al.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

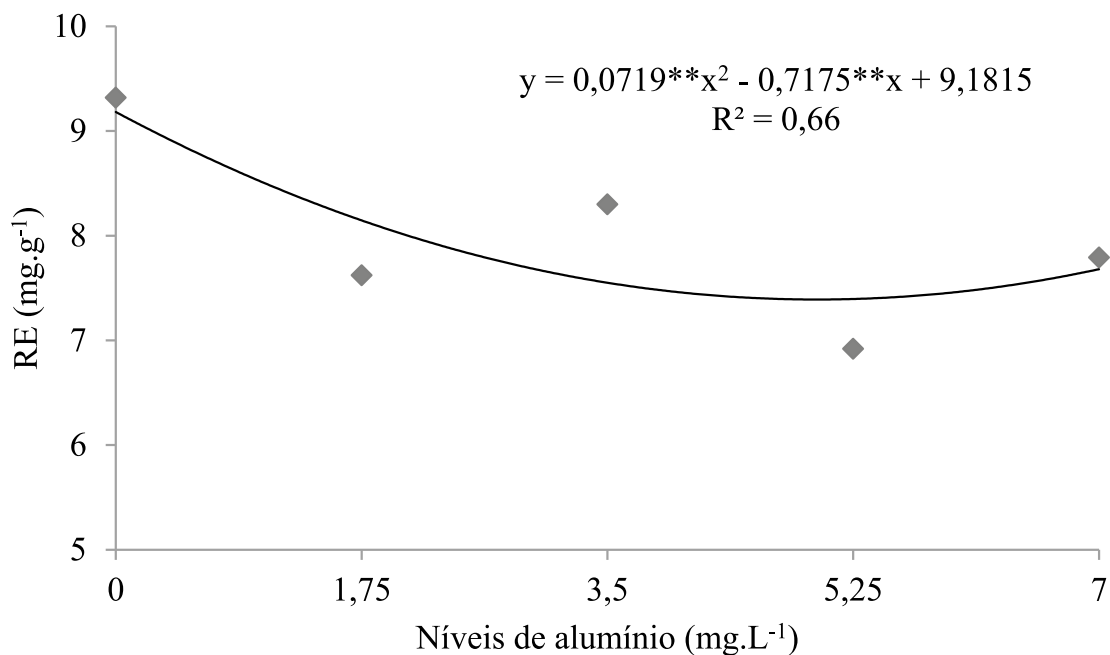
A dose mais concentrada de Al (7 mg L^{-1} de solução) proporcionou aumento de 30% no teor de prolina, em relação ao tratamento controle (dose 0). Resultados semelhantes foram encontrados por Valdés *et al.* (2012) em seu estudo com orégano mexicano (*Lippia graveolens* H.B.K.) submetido ao estresse por Cu^{2+} , Fe^{2+} e NaCl, onde foi observado efeito positivo no acúmulo de prolina nas plantas estressadas. No entanto, os teores de prolina observados no presente estudo foram inferiores aos encontrados por Alvarenga *et al.* (2011) em seu trabalho como alecrim-pimenta (*Lippia sidoides* Cham.) submetido a estresse hídrico. Isso mostra que a produção e acúmulo deste metabólito varia de acordo com a espécie, e o tipo de estresse ao qual foi submetida, uma vez que a prolina é produzida no tecido vegetal, como

forma de resposta a estresse, seja ele biótico ou abiótico (LATTANZIO *et al.*, 2009).

Giannakoula *et al.* (2008) salientam que a prolina presente em pequenas quantidades nas plantas é considerada um osmólito muito importante para o ajustamento osmótico de plantas, desempenhando função osmoprotetora. O acúmulo de prolina é considerado um dos parâmetros de seleção de plantas tolerantes a estresses (MANIVANNAN *et al.*, 2007).

Para os teores de flavonoides totais, expressos na forma de rutina equivalente (RE), foi possível ajustar uma equação de regressão quadrática (GRÁFICO 4).

Gráfico 4 – Teor de flavonoides totais, expressos na forma de rutina equivalente (RE) no cultivo hidropônico de *Origanum vulgare* L., submetido a estresse por Al.

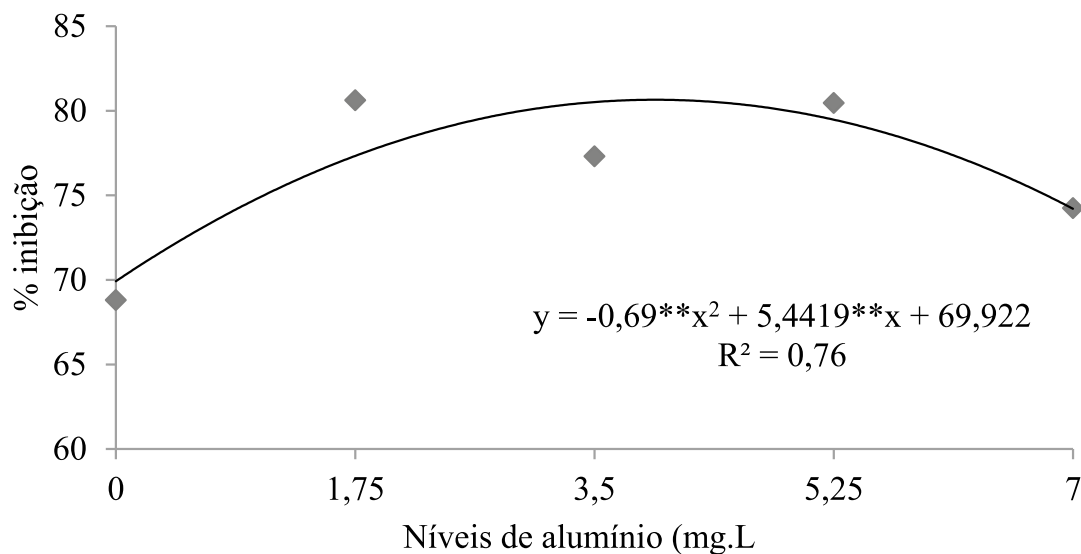


Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

O teor de flavonoides observados ficaram a abaixo do relatado por Benchikha *et al.* (2013) em seu estudo de caracterização de duas espécies do gênero: *Origanum vulgare* (36,63 mg g⁻¹) e *O.majorana* (57,65 mg g⁻¹). Este resultado confirma o relatado por Gobbo – Neto e Lopes (2007), onde descrevem que o estresse nutricional pode afetar as concentrações de metabolitos secundários. Este estudo mostrou que o estresse por alumínio ocasiona redução na produção de

flavonoides, e isso pode estar relacionado à região de origem do orégano (mediterrânea da Europa) que não apresenta abundância de solos ácidos e com elevada saturação por alumínio (SOUZA; LORENZI, 2005).

Foi ajustada uma equação de regressão quadrática para a capacidade de reduzir o DPPH (% inibição) do orégano submetido a estresse por alumínio (GRÁFICO 5).

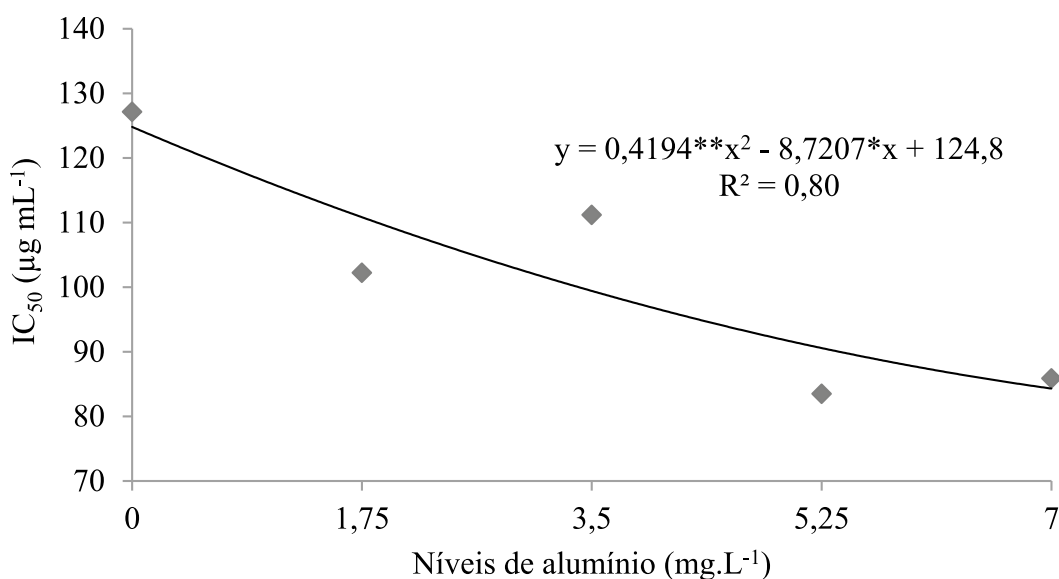
Gráfico 5 – Capacidade de reduzir o DPPH (% inibição) do extrato etanólico do orégano, *Origanum vulgare* L., submetido a estresse por alumínio

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

O tratamento controle (dose 0) foi o que apresentou a menor porcentagem de inibição, indicando que o estresse por alumínio influencia na produção dos compostos antioxidantes. Com base na equação de regressão quadrática gerada, foi calculado o nível de alumínio, dentro da

faixa avaliada, que levaria à máxima atividade antioxidante, 3,94 mg L⁻¹ de Al.

O coeficiente de inibição (IC₅₀) do extrato etanólico do orégano submetido a estresse por alumínio apresentou ajuste de regressão quadrática (GRÁFICO 6).

Gráfico 6 – Coeficiente de inibição (IC₅₀) do extrato etanólico do orégano, *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

O IC₅₀ variou entre 83,49 e 127,15 µg mL⁻¹, sendo que o tratamento controle (dose 0) o

que apresentou menor atividade antioxidante. O aumento da dose de alumínio ocasiona aumento

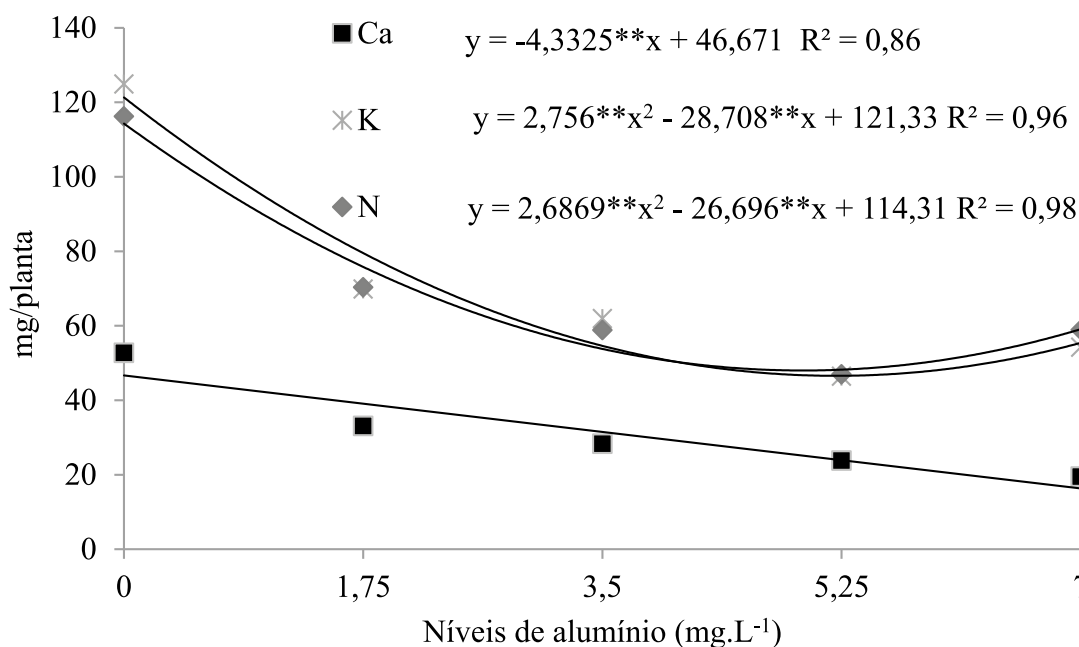
da atividade antioxidante, sendo necessária menor concentração do extrato para reduzir o DPPH a 50% da concentração inicial. Neste estudo não foi observada relação entre a atividade antioxidante e o teor de flavonoides totais, assim como relatado por Teixeira *et al.* (2013) e Kulisic; Radonic; Milos (2005), indicando a importância de um grupo mais restrito de compostos para essa característica.

Carboni (2013) avaliou concentrações de solução nutritiva na atividade antioxidante de *O. vulgare* L. e, segundo este autor, não foi percebida diferença significativa ao final do ciclo de

cultivo, sugerindo que fatores nutricionais exercem pouca influência no metabolismo responsável pelo sequestro de radicais livres para a planta de orégano.

Na condução do estudo não foi constatada deficiência visual de macronutrientes em nenhuma das parcelas. Para o acúmulo de potássio (K) e nitrogênio (N) foram ajustadas equações de regressão quadráticas, enquanto que, para o cálcio (Ca), foi ajustada equação de regressão linear (GRÁFICO 7).

Gráfico 7 – Teor acumulado de cálcio (Ca), potássio (K) e nitrogênio (N) em *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.

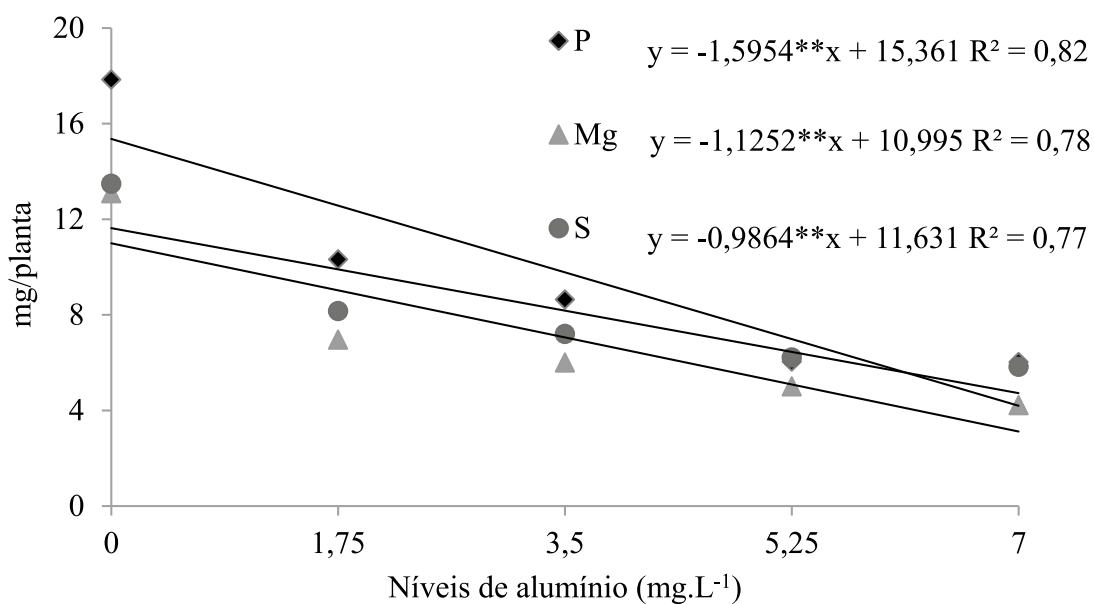


Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

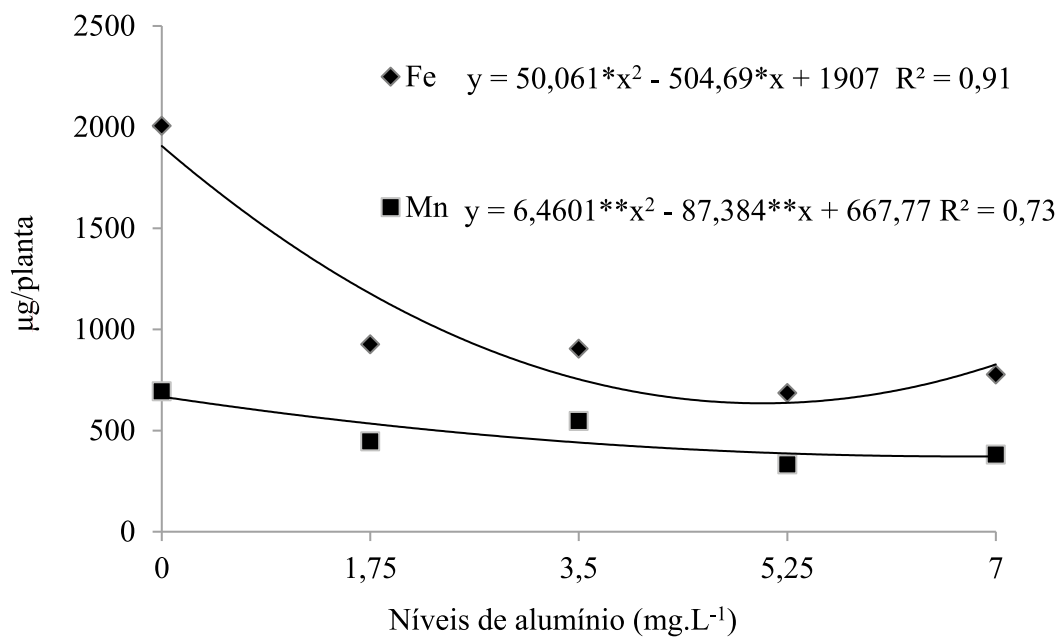
Para o fósforo (P), magnésio (Mg), enxofre (S) foram ajustadas equações de regressão linear (GRÁFICO 8).

Em relação aos micronutrientes, foram observados sintomas visuais de deficiência de ferro no final do ciclo de cultivo, para os tratamentos correspondentes às doses de 5,25 e 7 mg L⁻¹. Essa deficiência está relacionada ao fato do

excesso de alumínio influenciar nos processos de divisão celular do sistema radicular dos vegetais, resultando na indução de deficiência nutricional de minerais como cálcio e ferro (MARIN; SANTOS, 2008). Os teores de micronutrientes também foram influenciados pelo estresse por alumínio (GRÁFICOS 9 e 10).

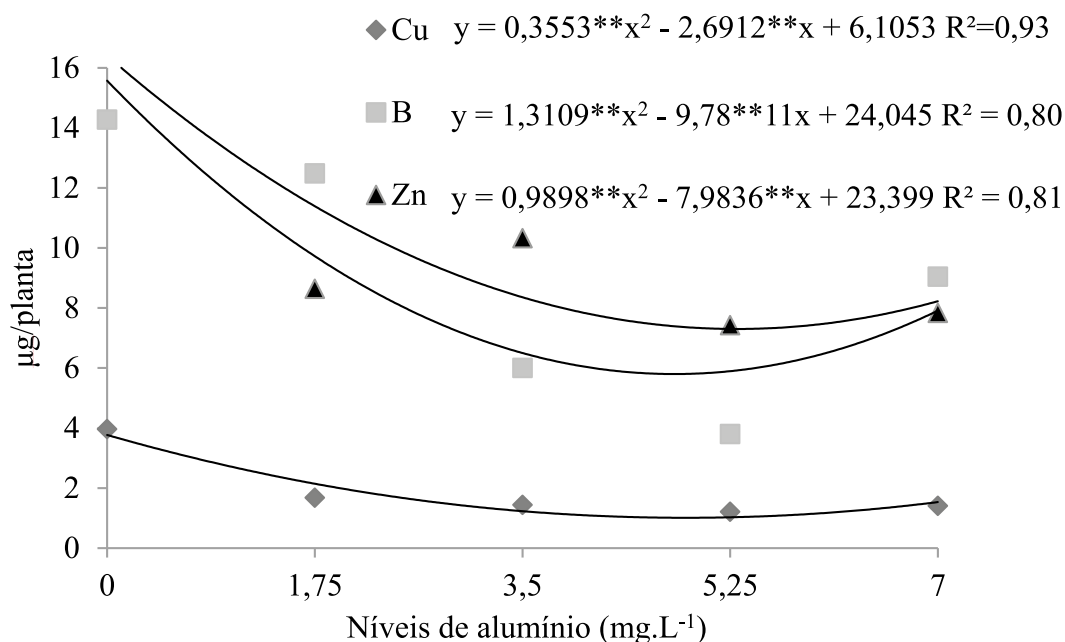
Gráfico 8 - Teor acumulado de Fósforo (P), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) em *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Gráfico 9 – Teor acumulado de ferro (Fe), manganês (Mn) em *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Gráfico 10 – Teor acumulado de ferro (Fe), manganês (Mn) em *Origanum vulgare* L. submetido a estresse por Al.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2015.

O tratamento controle (dose 0) foi o que apresentou maior acúmulo de macronutrientes e micronutrientes, mostrando que o estresse por alumínio acarreta redução na produção de biomassa e, conseqüentemente, no acúmulo de nutrientes. Além disso, o alumínio influencia no sistema de carregamento de nutrientes, devido à ação de inibição da elongação celular, que faz com que as raízes se tornem pouco funcionais, limitando a absorção, transporte e utilização dos

nutrientes (SILVA; ROBERTO; SEDIYAMA, 1984).

Conclusão

Plantas de orégano quando submetidas ao estresse por alumínio apresentaram menor produção de biomassa, menor acúmulo de nutrientes, maior produção de metabolismo secundário e atividade antioxidante aumenta.

Referências

ALVARENGA, I. C. A. *et al.* Prolina livre em alecrim-pimenta sob estresse hídrico antes da colheita. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, Botucatu, v. 13, p. 539-541, 2011.

BASLI, A. *et al.* Activité antibactérienne des polyphénols extraits d'une plante médicinale de la flore d'Algérie: *Origanum glandulosum* Desf. **Phytothérapie**, v. 10, n. 1, p. 2-9, 2012.

BENCHIKHA, N. B; MENACEUR, M. MENACEUR; BARHI, Z. Extraction and antioxidant activities of two species origanum plant containing phenolic and flavonoid compounds. **Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 5, n. 1, p. 120-128, 2013.

CARBONI, T. R. **Análise de crescimento, trocas gasosas, potencial antioxidante e óleo essencial de *Origanum vulgare* L. ssp. vulgare**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado Fisiologia e Bioquímica Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2013.

CORRÊA, R. M. *et al.* Crescimento de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de folhas de orégano sob malhas coloridas. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 1, 2012.

EPSTEIN, E.; JUNIOR BLOOM, A. J. **Nutrição Mineral de plantas, Princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006. 401 p.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1998. 30 p.

GIANNAKOULA, A. *et al.* Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. **Journal of plant physiology**, v. 165, n. 4, p. 385-396, 2008.

- GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 374, 2007.
- KHALFI, O. *et al.* Chemical composition and insecticidal properties of *Origanum glandulosum* (Desf.) essential oil from Algeria. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 9, p. 1562-1566, 2008.
- KULISIC, T.; RADONIC, A.; MILOS, M. Antioxidant properties of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and wild thyme (*Thymus serpyllum* L.) essential oils. **Italian Journal of Food Science**, v. 17, n. 3, p. 1-10, 2005.
- LATTANZIO, V. *et al.* Relationship of secondary metabolism to growth in oregano (*Origanum vulgare* L.) shoot cultures under nutritional stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 1, p. 54-62, 2009.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Metodologia para Análise de Elementos em Material Vegetal. In: **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed., ver. e atual. Piracicaba: POTAFOS, 1997. Cap. 6.
- MANIVANNAN, P. *et al.* Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 59, n. 2, p. 141-149, 2007.
- MARIN, A.; DOS SANTOS, D. M. M. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 10, p. 1267-1275, 2008.
- MOLINARI, H. B. C. *et al.* Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, n. 2, p. 218-229, 2007.
- MOSSI, A. J. *et al.* Effect of aluminum concentration on growth and secondary metabolites production in three chemotypes of *Cunila galioides* Benth. medicinal plant. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 4, p. 1003-1009, 2011.
- SANTOS, V. B. *et al.* Produção hidropônica de orégano (*Origanum vulgare*) e agrião da terra (*barbarea verna*), em diferentes concentrações de solução nutritiva. **Horizonte Científico**, v. 2, n. 1, 2008.
- SILVA, J. B. C.; NOVAIS, R. F.; SIGUEYUKI, S. C. Comportamento de genótipos de soja em solo com alta saturação de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 3, p. 287-298, 1984.
- SILVA, J. R. *et al.* **Cultivo Hidropônico**. UFMG, 2014. 36 p.
- SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.
- TEIXEIRA, B. *et al.* Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 11, p. 2707-2714, 2013.
- VALDÉS O, F. J. *et al.* Ion and salt effects on the productivity and proline accumulation in *Lippia graveolens* HBK. **Phyton**, Buenos Aires, v. 81, p. 191-198, 2012.
- VIEIRA JÚNIOR, P. A. *et al.* Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.