

LUIZ ANTÔNIO ZANÃO JÚNIOR

**PRODUÇÃO DE GIRASSOL ORNAMENTAL E ROSAS EM VASOS POR
INFLUÊNCIA DA FERTILIZAÇÃO SILICATADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS

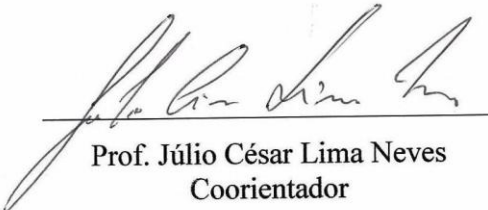
2011

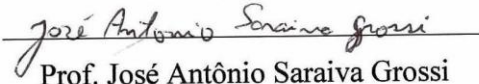
LUIZ ANTÔNIO ZANÃO JÚNIOR

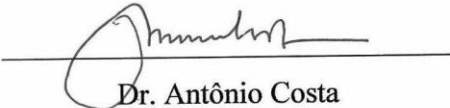
**PRODUÇÃO DE GIRASSOL ORNAMENTAL E ROSAS EM VASOS POR
INFLUÊNCIA DA FERTILIZAÇÃO SILICATADA**

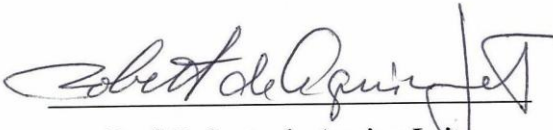
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

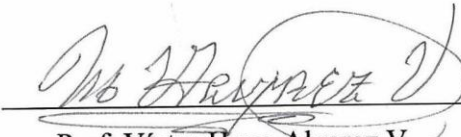
APROVADA: 03 de fevereiro de 2011.


Prof. Júlio César Lima Neves
Coorientador


Prof. José Antônio Saraiva Grossi
Coorientador


Dr. Antônio Costa


Prof. Roberto de Aquino Leite


Prof. Víctor Hugo Alvarez V.
(Orientador)

“Não sei se a vida é curta ou longa para nós, mas sei que nada do que vivemos tem sentido, se não tocarmos o coração das pessoas.

Muitas vezes basta ser: colo que acolhe, braço que envolve, palavra que conforta, silêncio que respeita, alegria que contagia, lágrima que corre, olhar que acaricia, desejo que sacia, amor que promove.

E isso não é coisa de outro mundo, é o que dá sentido à vida. É o que faz com que ela não seja nem curta, nem longa demais, mas que seja intensa, verdadeira, pura enquanto durar.

Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina”.

Cora Coralina

A todos os professores brasileiros, verdadeiros heróis, especialmente àqueles que passaram por minha vida e à Sociedade Brasileira, pagadora de impostos, que financiou meus estudos desde os meus primeiros contatos com o lápis e o caderno na tenra infância.

Ofereço

À minha esposa Maristela, metade minha, pelo amor, incentivo e companheirismo em todos os momentos e aos meus pais, com muito carinho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Solos, pela oportunidade oferecida e acima de tudo, pelo suporte durante esta etapa e por tanto contribuir para o desenvolvimento da Ciência do Solo no Brasil.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor Victor Hugo Alvarez V., grande homem e exemplo, pela orientação precisa, abnegação, paciência e humildade e por generosamente transmitir-me um pouco de sua experiência.

À Maristela Pereira Carvalho Zanão, minha esposa e colega de Pós-Graduação, que foi uma das responsáveis pela concretização de mais esta fase das nossas vidas. Seu apoio constante em todos os momentos desse doutorado foi vital, seja pelo apoio físico nas atividades, palavras de incentivo e críticas construtivas que muito ajudaram.

Ao professor Renildes Lúcio Ferreira Fontes, pela coorientação, amizade, incentivo e acima de tudo pela confiança e pelos conselhos.

Aos professores Júlio César Lima Neves e José Antônio Saraiva Grossi pela coorientação, incentivo e pelas sugestões.

Ao pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, Dr. Antônio Costa, por ter cedido seu tempo e disposição para participar da banca de defesa dessa tese, pelas preciosas sugestões e pelas conversas sempre enriquecedoras. Obrigado por me passar um pouco de sua experiência sobre a fertilidade dos solos do Paraná.

Aos professores do Departamento de Solos, pela atenção cedida e importante participação em minha formação.

A todos os funcionários do Departamento de Solos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos laboratoristas, Carlos Fonseca e Cláudio. Um agradecimento especial à Luciana, secretária da Pós Graduação, pela incrível facilidade em solucionar problemas.

Ao Departamento de Fitotecnia e de Biologia Vegetal da UFV, pelo empréstimo de aparelhos importantes para a concretização deste trabalho.

Às professoras Leila Teresinha Maranhão do Centro Universitário Positivo (Unicenp) de Curitiba-PR e Célia Guadalupe Tardeli de Jesus Andrade da Universidade Estadual de Londrina (UEL) por gentilmente terem cedido algumas horas de utilização dos laboratórios que coordenam e por colaborarem com importantes sugestões.

A todos os colegas de Pós-Graduação da UFV pelos momentos compartilhados.

Ao pessoal do Laboratório de Anatomia Vegetal da UFV, em particular às professoras Aristéa Azevedo, Marília C. Ventrella, por disponibilizarem a infraestrutura necessária. Também agradeço à Jaqueline Dias Pereira, doutoranda naquele tempo, agora professora da UFV, no Campus Rio Paranaíba, pela preciosa colaboração em tudo que foi necessário, pelas críticas e pela paciência.

Às professoras Regina Maria Quintão Lana e Marli A. Ranal pela amizade, apoio, estímulo e pela torcida.

Aos amigos conquistados em Viçosa pela presença constante e por suavizarem a caminhada da Pós-Graduação: Carlos Ribeiro, Juliana Soares, Cris, Diana, Euriel, Nilza, Igor, Eulene e Ana Maria. Um obrigado especial à Patrícia Ribeiro dos Santos e Goédhi Antas, pelos leves momentos de muitas gargalhadas, descontraídas conversas, brincadeiras e amizade sincera.

Ao inicialmente estagiário Vinícius Tavares de Ávila, que passou a ser meu grande amigo e mais recentemente colega de Pós-Graduação em Solos e que muito me auxiliou na condução dos experimentos, sempre compartilhando muitas risadas.

Ao bom Deus, pela infinita misericórdia, nunca desamparando-me e fortalecendo minha fé. Nos bons e maus momentos, sempre, por me manter feliz e fortalecido neste mundo.

Aos agricultores do mundo.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

LUIZ ANTÔNIO ZANÃO JÚNIOR, filho de Luiz Antônio Zanão e Maria Lúcia Viera Zanão, nasceu em Uberlândia - MG, no dia 24 de janeiro de 1981. É casado com Maristela Pereira Carvalho Zanão.

Em 1996, iniciou o curso Técnico em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Uberlândia, em Uberlândia-MG, findando-o em dezembro de 1998. Durante o ano de 1999 exerceu a profissão em uma empresa de consultoria agrícola e estagiou no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia, onde teve os primeiros contatos com a Ciência do Solo e pode confirmar sua vocação para a Agronomia.

Em dezembro de 2004, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Uberlândia, participando durante a graduação, como bolsista, do Programa Especial de Treinamento (PET) e bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

Em fevereiro de 2005, iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Renildes Lúcio Fontes, findando-o em março de 2007.

Em março de 2007, iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Víctor Hugo Alvarez V., qualificando-se em agosto de 2009 e defendendo tese em fevereiro de 2011.

Em novembro de 2008 passou a fazer parte do quadro efetivo de pesquisadores do Instituto Agrônômico do Paraná, na área de Fertilidade do Solo.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS.....	9
LITERATURA CITADA	9
CAPÍTULO I: Produção de rosas e girassol ornamental influenciadas pela aplicação de doses de silício no substrato.....	17
RESUMO	17
SUMMARY	18
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
CONCLUSÕES.....	39
AGRADECIMENTOS.....	39
LITERATURA CITADA	40
CAPÍTULO II: Plasticidade anatômica foliar e trocas gasosas de girassol ornamental em função da aplicação de silício no substrato.....	46
RESUMO	46
SUMMARY	47
INTRODUÇÃO.....	48
MATERIAL E MÉTODOS.....	49
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
CONCLUSÕES.....	59
AGRADECIMENTOS.....	60
LITERATURA CITADA	60
CONCLUSÃO GERAL.....	65

RESUMO

ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Produção de girassol ornamental e rosas em vasos por influência da fertilização silicatada.** Orientador: Víctor Hugo Alvarez V.. Coorientadores: José Antônio Saraiva Grossi, Júlio César Lima Neves e Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

A floricultura é uma atividade que vem crescendo no Brasil, com grande potencial econômico. A utilização de Si no cultivo de algumas plantas ornamentais em vasos em casa de vegetação tem proporcionado aumento na produção e qualidade do produto final. Também foi verificado que ele minimiza vários fatores de estresse aos quais as plantas estão sujeitas, tanto bióticos quanto abióticos. No entanto, a utilização desse elemento na produção de plantas ornamentais não é normalmente considerada, embora o elemento seja encontrado em quantidades limitadas nos substratos de cultivo ou na solução nutritiva em sistemas hidropônicos e isto seja grande indício de resposta à sua aplicação. Possíveis alterações fisiológicas e anatômicas proporcionadas por este elemento precisam ser avaliadas. Objetivou com este estudo avaliar a produção e a qualidade de duas cultivares de roseiras e uma cultivar de girassol ornamental cultivadas em vaso e possíveis alterações anatômicas foliares e nas trocas gasosas do girassol em resposta à aplicação de doses de Si no substrato. Em casa de vegetação, foram conduzidos dois experimentos, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Em um, os tratamentos foram gerados pelo fatorial 2x5, composto por duas cultivares de roseira (Yellow Terrazza[®] e Red White Terrazza[®]) e cinco doses de Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹). No segundo ensaio foram avaliados os efeitos das mesmas doses de Si na produção de girassol ornamental cv. Sunbright e na anatomia foliar e nas trocas gasosas dessa espécie. A fonte de Si utilizada foi o metassilicato de K. Foram avaliados a altura das plantas, ciclo, produção, diâmetro e longevidade floral, teores foliares e conteúdo de Si, macronutrientes e micronutrientes. Para o estudo anatômico, amostras da região mediana da lâmina (compreendendo a nervura central)

do sexto par de folhas a partir do ápice foram coletadas e análises morfométricas realizadas. Os tricomas da epiderme foram analisados usando-se as técnicas de diafanização e microscopia eletrônica de varredura acoplada a raios-X (MEV-EDS). Determinou-se a espessura da lâmina foliar, dos parênquimas paliçádico e lacunoso, do mesofilo e das faces abaxial e adaxial da epiderme. As trocas gasosas (taxa fotossintética líquida, condutância estomática e taxa de transpiração) foram determinadas na folha do quinto nó, no início do florescimento, com o auxílio de um analisador de gás no infravermelho (IRGA). Foi feita a análise de variância (ANOVA) dos dados ajustando-se equações de regressão para o efeito das doses de Si, testadas até o nível de 10 % de probabilidade. A aplicação de Si no substrato melhorou a produção e a qualidade das rosas e do girassol produzidos, porém a resposta das plantas variou com as doses de Si. As doses de Si para se obter 90 % da produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram de 0,423 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza[®], 0,220 g kg⁻¹ para Red White Terrazza[®] e 0,235 g kg⁻¹ para o girassol. Os efeitos negativos do Si foram observados à partir das doses de 0,86 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza[®], 0,55 g kg⁻¹ para Red White Terrazza[®] e 0,66 g kg⁻¹ para o girassol. Os teores foliares de Si aumentaram em função da dose de Si aplicada no substrato. A espessura dos tecidos foliares do girassol não foi influenciada pela aplicação do Si no substrato. Entretanto, houve redução da taxa de transpiração e aumento da taxa de fotossíntese líquida e condutância estomática em resposta às doses de Si. O girassol ornamental cv. Sunbright acumula Si nos tricomas foliares.

ABSTRACT

ZANÃO JÚNIOR, Luiz Antônio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011. **Production of potted ornamental sunflower and roses under the influence of silicon fertilization.** Adviser: Víctor Hugo Alvarez V.. Co-advisers: José Antônio Saraiva Grossi, Júlio César Lima Neves and Renildes Lúcio Ferreira Fontes.

The Floriculture is an agricultural activity that is growing in Brazil and has a great economic potential. It is known that the use of Si in the greenhouse cultivation of potted ornamental plants has increased the ornamentals yield and improved the final quality of the products. Furthermore, Si plays an important role helping the plants to overcome many biotic and abiotic stresses. However, the use of this element in the fertilization of ornamental plant production is usually not considered. This happens even with Si being present in small amounts in the substrate or hydroponic nutrient solution used for ornamental plants growth and the positive response observed after its application for the plants. The aim of this study was to evaluate the yield of two rose cultivars and one ornamental sunflower cultivar grown in pots in response to Si-fertilization applied in the drench. It was also evaluated the effect of Si in the quality of the ornamental plants produced and the possible modifications in the foliar anatomy and the occurrence of gas exchange in the sunflower plants. In greenhouse, two experiments were conducted in randomized block design, with four replications. In one, the treatments were generated by a 2x5 factorial, with two rose cultivars (Yellow Terrazza[®] and Red White Terrazza[®]) and five doses of Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 and 1,00 g kg⁻¹) supplied as potassium metasilicate. In the other, it was evaluated the effect of the Si doses (supplied as potassium metasilicate) on yield, leaf anatomy and occurrence of gas exchange in the 'Sunbright' ornamental sunflower species. The plant height, the culture cycle, the yield, the flower diameter and the longevity of plants were measured. It was determined the concentrations and contents of Si macronutrients and micronutrients in the leaves. Samples from the middle region of the blade in the sixth pair of leaves from

the top (including midrib) were collected for the anatomical study based on the morphological characteristics. The epidermis trichomes were analyzed using the clearing and scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM-EDS). The thickness of the leaf blade, of the palisade and spongy parenchyma, of the mesophyll, and of the abaxial and adaxial epidermis were measured. The gas exchange parameters, the net photosynthesis, the stomatal conductance and the transpiration rate were measured in the fifth pair of leaves, at the flowering stage, with an infra-red gas analyzer (IRGA). The Analysis of Variance (ANOVA) and regression analysis were performed with the equations adjusted for the variables studied as a function of the Si doses applied. The addition of Si in the drench increased the Si concentration in leaves, increased the yield and improved the quality of potted roses and sunflower, however, the plant response was variable according to the Si dose. The dose of Si necessary to produce 90% of flower dry matter and maximal physical yield was 0.423 g kg^{-1} for Yellow Terrazza[®] rose, 0.220 g kg^{-1} for Red White Terrazza[®] rose and 0.235 g kg^{-1} for the sunflower plants. The negative effects of Si were observed with doses above 0.86 g kg^{-1} for the Yellow Terrazza[®] rose, 0.55 g kg^{-1} for the Red White Terrazza[®] rose and 0.66 g kg^{-1} for the sunflower plants. Although the thickness of the leaf tissues of sunflower had not been altered by the dose of Si applied, as the dose of Si was raised it was observed an expressive diminishing in the transpiration rate, whereas the net photosynthesis and the stomatal conductance were increased. The ornamental sunflower cv. Sunbright accumulates Si in its leaf trichomes.

INTRODUÇÃO GERAL

O mercado mundial de flores e plantas ornamentais gera, anualmente, um montante no comércio internacional na ordem de 6,7 GUS\$, concentrados em países como Holanda, Colômbia, Itália, Dinamarca, Bélgica, Quênia, Zimbábue, Costa Rica, Equador, Austrália, Malásia, Tailândia, Israel e EUA. A participação do Brasil nesse mercado ainda é pequena, mas cresce constantemente (BRASIL, 2009). Esse crescimento faz com que a floricultura brasileira venha apresentando expressiva importância econômica no cenário do agronegócio, o que vem acompanhado da exigência de pesquisa e desenvolvimento de técnicas adaptadas à realidade inerente às peculiaridades do Brasil.

O Si não é considerado elemento essencial, levando-se em consideração os critérios clássicos postulados por Arnon & Stout (Epstein, 1999). Entretanto, Epstein & Bloom (2005) caracterizam-no como elemento "quase essencial", no sentido de que maior crescimento e produtividade vegetal podem ser estimulados pela aplicação deste elemento. Segundo esses autores, os efeitos benéficos da aplicação do Si são muitos, entretanto, é difícil provar, cientificamente, sua essencialidade pelo fato de o mesmo se encontrar amplamente disseminado na natureza.

Em várias revisões são detalhados os efeitos benéficos do Si (Epstein 1994; Ma et al., 2001; Ma, 2004; Liang et al., 2007; Ma & Yamagi, 2008). Na maioria dos casos, porém, é incerto se a maior produtividade é atribuível ao efeito nutricional ou pela amenização dos muitos estresses bióticos ou abióticos proporcionada pelo mesmo (Epstein, 1999; Fauteux et al., 2005). Dentre os estresses abióticos amenizados pelo Si estão o déficit hídrico, baixas temperaturas e geadas, salinidade e toxidez provocada pelo excesso de disponibilidade de elementos no solo como Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, As, Na e B. Dentre os estresses bióticos estão doenças e pragas (Epstein 1994, 1999; Ma

et al., 2001; Neumann & Nieden, 2001; Ma, 2004; Fauteux et al., 2005, Liang et al., 2007; Ma & Yamagi, 2008).

A maioria dos benefícios do Si às plantas é atribuída à sílica amorfa depositada intracelularmente e à dupla camada cutícula-sílica, conferindo maior rigidez e resistência aos tecidos vegetais. Epstein (1999), Liang et al. (2003) e Zhu et al. (2004) mencionam que o Si está envolvido direta ou indiretamente no metabolismo celular e ressaltam que não há esclarecimento sobre o seu mecanismo de ação. Atualmente, o conhecimento sobre o Si nas plantas ainda parece ser insuficiente para que se estabeleça alguma função direta desse elemento nos processos fisiológicos e bioquímicos da planta.

Nas plantas acumuladoras, o Si é absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Posteriormente, é translocado imediatamente para as folhas. Com perda de água devido à transpiração, o ácido é gradualmente concentrado e polimerizado, primeiro sob forma coloidal e finalmente sob forma de sílica gel, ou sílica amorfa ($SiO_2.nH_2O$) ou sílica biogênica, tornando-se imóvel. Esta sílica pode ser depositada intra ou extracelularmente, principalmente nas células epidérmicas. Depositada intracelularmente, pode preencher quase toda a célula. Extracelularmente é depositada sob a cutícula. A associação cutícula juntamente com a camada de Si é geralmente denominada de dupla camada cutícula-sílica (Epstein, 1999; Ma et al., 2001). Os maiores teores de Si são encontrados nos tecidos mais velhos (Blackman, 1969; Ma & Yamaji, 2008). Nas gramíneas, como o arroz, o Si é depositado em células silicosas (formando os corpos silicosos), células buliformes, estômatos e nos feixes vasculares (Currie & Perry, 2007).

As plantas diferem bastante na capacidade de absorver e acumular Si. Os teores foliares desse elemento em um estudo envolvendo mais de quinhentas espécies variaram

de 0,1 a 100 g kg⁻¹ (Ma et al., 2001). Em culturas como o arroz, e cana de açúcar a absorção de Si pode igualar-se ou exceder à dos macronutrientes (Savant et al., 1997; Zanão Júnior, 2007).

Atualmente, os critérios para a classificação quanto ao acúmulo de Si se baseiam nos teores foliares deste elemento. Também, na relação entre os teores foliares de Si e os teores foliares de Ca (Si/Ca). Plantas com teores foliares de Si acima de 10 g kg⁻¹ e relação Si/Ca superior a 1,0 são classificadas como acumuladoras de Si. As intermediárias apresentam teores entre 5 e 10 g kg⁻¹ e relação Si/Ca entre 0,5 a 1,0 e as não acumuladoras, apresentam teores foliares deste elemento inferiores a 5 g kg⁻¹ e relação Si/Ca menor que 0,5 (Ma & Takahashi, 1990; Ma et al., 2001).

Um produto final de ótima qualidade é desejável em todas as atividades econômicas, mas quando se trata de floricultura isso é vital. A agregação de valor às flores e plantas ornamentais está intimamente relacionada ao aspecto e à boa qualidade das folhas, hastes e flores, que segundo Roude et al. (1991), estão relacionados a aspectos ambientais e nutricionais. Sem dúvida a adubação e a nutrição podem ser manejadas de modo a se alcançar maior produtividade, qualidade e longevidade das flores, diferenciais importantes na acirrada competição existente na floricultura (Nell et al., 1997). Há evidências de que a aplicação do Si influencia a qualidade estética de plantas ornamentais. Hwang et al. (2005) relataram que o Si proporcionou maior crescimento e flores de rosa de melhor qualidade. Adição de Si à solução nutritiva em hidroponia no cultivo de gérbera resultou em maior percentual de flores da Classe I e espessura das hastes florais (Savvas et al., 2002). O número e o peso de flores de margarida (*Helichrysum adenophorum* F.Muell.) também foram maiores com a aplicação de Si (Muir et al., 2001).

Maior resistência ao estresse hídrico foi verificada em girassol (Gunes et al., 2008). Plantas fertilizadas com Si são mais eficientes na utilização da água, por ter reduzida a sua transpiração e incremento na taxa fotossintética (Agarie et al., 1998; Carvalho et al., 2008). A maior resistência ao déficit hídrico é atribuída ao acúmulo de Si nos órgãos das plantas que efetuam as trocas gasosas, formando uma dupla camada de sílica, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos limitando a perda de água (Takahashi, 1995; Korndörfer et al. 1999; Faria, 2000).

O Si também promove maior tolerância ao estresse salino. Fato verificado por Reezi et al., (2009) e Savvas et al., (2007) na cultura da rosa. Essa maior tolerância deve-se provavelmente ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes (Al-aghaby et al., 2004) e aumento da atividade da H^+ -ATPase na membrana plasmática da raiz, aumentando a captação e translocação de K^+ , reduzindo a absorção de Na^+ e Cl^- (Liang, 1999). Liang et al. (2005) concluíram que plantas crescidas em solução nutritiva contendo Si e submetidas a estresse salino apresentaram aumento na atividade da H^+ -ATPase e H^+ -PPiase na membrana do tonoplasto e diminuição dos danos da oxidação lipídica da membrana, ajudando a manter a integridade da mesma e suas funções. Esta resistência está relacionada também com o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, prevenindo danos oxidativos na membrana, bem como redução na translocação de Na, Cl e B para a parte aérea.

O aumento da resistência ao frio pelo Si foi relatado na cultura do trigo (Zhu et al., 2006). Os possíveis mecanismos que explicaram a redução dos efeitos das injúrias provocadas pelas baixas temperaturas nas plantas cultivadas com adição de Si à solução nutritiva são maior atividade de enzimas de efeito anti-oxidativo e menor peroxidação de lipídios da membrana celular, através de retenção de água em tecidos foliares (Zhu et al., 2006; Liang et al., 2008). Essa retenção de água é explicada pelos mesmos motivos

dos observados na resistência das plantas ao déficit hídrico. Este é um tópico de bastante interesse aos produtores de flores, principalmente aquelas que são armazenadas em baixas temperaturas ou aquelas que necessitam este tipo de armazenamento, porém não o toleram. A baixa temperatura pode causar descoloração de flores e lesões necróticas de pétalas e folhas. Estas lesões aceleram a perda de água e aumentam a susceptibilidade ao ataque de patógenos e saprófitas (Nowak & Rudnicki, 1990). Estudos envolvendo a utilização do Si para reduzir os efeitos indesejados da injúria causada pelo frio, permitindo que plantas sejam armazenadas sob baixas temperaturas e por períodos maiores são necessários.

Em plantas ornamentais, também há relatos da redução da toxidez por Mn em poinsettia (Voogt & Sonneveld, 2001). Acredita-se que a redução, pelo Si, da toxidez causada pelo excesso de alguns metais deva-se à co-precipitação ou complexação de metais com Si evitando a absorção dos mesmos; pela inibição do transporte de metais das raízes para a parte aérea; pela compartimentalização dos íons metálicos; pelo aumento da atividade de enzimas do sistema anti-oxidativo, como a superóxido dismutase e peroxidase e por alterações na anatomia das plantas (Neumann & Nieden 2001; Rogalla & Römheld, 2002; Shi et al., 2005; Liang et al., 2007).

A utilização do Si na agricultura iniciou-se pelo efeito de sua redução nos estresses bióticos sofridos pelas plantas, ou seja, pragas e doenças. São vários os estudos de patossistemas em que são relatados os efeitos do Si na redução da severidade das doenças provocadas pelos mais variados patógenos, desde nematóides, fungos, bactérias e vírus, em diversas culturas (Marschner, 1995; Datnoff et al, 1997; Epstein, 1999; Fauteax et al. 2005). E vários são, também, os que encontraram redução nos danos provocados por pragas com a aplicação do Si (Epstein, 1999; Ma, 2004; Ma & Yamagi, 2008).

Estudos envolvendo espécies ornamentais verificaram a redução da severidade causada por oídio em violeta africana com a aplicação do Si. Há relatos de aumento da resistência de rosas ao míldio e oídio e também de zínia à oídio. Este elemento reduziu tanto a incidência quanto a severidade destas doenças (Gillman et al., 2003; Locke et al. 2006).

O modo pelo qual o Si atua na resistência das plantas a doenças é bastante discutido na literatura. Os primeiros estudos concluem que pela participação do Si na fortificação de estruturas da parede celular e no aumento da lignificação, a resistência é passiva. Esse elemento pode, também, potencializar mecanismos específicos de defesa como a produção de fitoalexinas (Menzies et al., 1991; Fawe et al., 1998) e o aumento na atividade de enzimas relacionadas à patogênese (Cai et al., 2008). A sílica amorfa, depositada principalmente na parede celular abaixo da cutícula, formando a camada dupla cutícula-sílica aumenta a rigidez da célula que dificulta a penetração do fungo (Yoshida, 1965). Além disso, o Si pode elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina da parede celular e estas, juntas, tornam a parede menos acessível às enzimas de degradação produzidas pelo fungo e à difusão de toxinas (Bowen et al., 1992).

Existe, atualmente, um consenso de que além da resistência mecânica podem existir alterações ocorridas nos sinais entre o patógeno e o hospedeiro, resultando na ativação mais rápida e prolongada de mecanismos de defesa da planta. Assim, segundo Cai et al. (2008), a redução causada pelo Si na severidade das doenças é um processo complexo. Ele não é limitado a barreiras mecânicas passivas (deposição e polimerização do Si abaixo da cutícula) ou à indução de reações bioquímicas (produção de compostos fenólicos), mas sim é resultado da atuação desses dois mecanismos.

No caso das pragas, o Si pode conferir resistência às plantas pela barreira mecânica formada pela dupla camada cutícula-sílica e também pelo aumento da

atividade de enzimas relacionadas à defesa das plantas, induzindo a síntese de moléculas defensivas como taninos e lignina (Gomes et al., 2005). Além disso, pode atuar no comportamento do inseto em relação à cultura, alterando a morfologia das mesmas (como a silossificação de pêlos epidérmicos), diminuindo a palatabilidade, reduzindo sua alimentação e reprodução (Epstein, 1999). Em zínnia, que acumula Si em concentrações relativamente elevadas em comparação com outras dicotiledôneas, verificou-se aumento da resistência a pulgões quando estas plantas receberam aplicação de Si no solo (Frantz et al., 2008; Ranger et al., 2009). Estes autores verificaram que o Si diminuiu a taxa de fecundidade dos pulgões e promoveram maior produção de compostos fenólicos e flavonóides utilizados na defesa destas plantas contra os insetos.

Quando se trabalha com plantas ornamentais um dos pré-requisitos é que elas apresentem uma razoável longevidade após a abertura das flores, que pode ser alterada por fatores pré-colheita, como aspectos nutricionais, além dos genéticos. A pós-colheita das flores é uma etapa crucial na floricultura. Perdas nesta fase estão relacionadas ao próprio metabolismo da planta, a danos mecânicos e fisiológicos, a condições de manejo e colheita além do sistema e condições de armazenamento. Segundo Halevy & Mayak (1974), não existe um tratamento pós-colheita universal eficiente para todos os tipos de flores, mas alguns tratamentos específicos podem contribuir para a manutenção da qualidade de certas espécies, influenciado alguns importantes fatores, tais como, reserva de carboidratos ou nutrientes, balanço hídrico bem como o balanço hormonal envolvido no desenvolvimento e senescência floral. Pelo envolvimento do Si em algumas rotas enzimáticas do sistema anti-oxidativo e permeabilidade da membrana celular, estudos envolvendo este Si no aumento da longevidade floral pós-colheita são sugeridos. Questões como o papel do Si na permeabilidade das membranas celulares ao etileno

(hormônio da senescência) e da interação deste elemento com os bloqueadores deste hormônio merecem respostas para tentar aumentar a longevidade floral.

Espécies ornamentais como gébera, cravo, áster, poinsétia, violeta, zínnia, girassol, crisântemo e rosas acumulam Si em seus tecidos, em quantidades razoáveis (Voogt & Sonneveld, 2001; Zanão Júnior et al., 2008; Carvalho et al., 2009). Foram verificados efeitos benéficos deste elemento em muitas destas espécies. Vários pesquisadores têm observado que os efeitos relatados variam e dependem fortemente da espécie vegetal. No entanto, a utilização do Si na produção vegetal no setor de floricultura não é normalmente considerada, embora o elemento seja encontrado em quantidades limitadas nos substratos de cultivo ou na solução nutritiva em sistemas hidropônicos e isto seja grande indício de resposta à sua aplicação. Atualmente, a inclusão de silício na solução nutritiva padrão é recomendada para algumas espécies, especialmente pepino e abobrinha (Sonneveld, 2002). A utilização do Si nos programas de adubação das plantas ornamentais pode ser uma boa alternativa para auxiliar no aumento da qualidade do produto final e reduzir perdas pós-colheita. Assim, deve-se investigar a absorção de Si em outras espécies de interesse econômico neste setor e avaliar o efeito da aplicação deste elemento nas mesmas.

O trabalho foi redigido na forma de dois capítulos, os quais foram intitulados: “Produção de rosas e de girassol ornamental influenciadas pela aplicação de doses de silício no substrato” e “Plasticidade anatômica foliar e trocas gasosas de girassol ornamental em função da aplicação de silício no substrato”.

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivos:

1. Avaliar a produção e a qualidade de duas cultivares de roseiras e uma de girassol ornamental cultivadas em vaso em função de doses de Si aplicadas no substrato;
2. Avaliar os efeitos fisiológicos e possíveis alterações nas trocas gasosas de girassol ornamental em resposta à aplicação de doses de Si no substrato;
3. Verificar as alterações anatômicas foliares de girassol em função da aplicação de doses de Si no substrato;
4. Determinar a dose apropriada de Si aplicada no substrato para as espécies estudadas.

LITERATURA CITADA

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W. & KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.*, 1:96-103, 1998.
- AL-AGHABARY, K; ZHU, Z & SHI, Q. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *J. Plant. Nutr.*, 12:2101-2115, 2004.
- BLACKMAN, E. Observations on the development of the silica cells of the leaf sheath of wheat (*Triticum aestivum*). *Canadian J. Bot.*, 47:827-838, 1969.
- BOWEN, P., MENZIES, J. & EHRET, D. Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117:906-912, 1992.

- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC, Secretaria de Comércio Exterior - SECEX, Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet - ALICE-Web (2009). Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em 16/11/2009.
- CAI, K.; GAO, D.; LUO, S; ZENG, R.; YANG, J. & ZHU, X. Physiological and cytological mechanisms of silicon-induced resistance in rice against blast disease. *Physiol. Plant*, 134:324-333, 2008.
- CARVALHO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; GROSSI, J.A.S. & BARBOSA, J.G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. *Cienc. Rural*, 39:2394-2399, 2009.
- CARVALHO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.Z.; ÁVILA, V.T. & ALVAREZ V., V.H. Características fisiológicas de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com fontes de silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA. 59., 2008. Anais. Natal, Sociedade Brasileira de Botânica, 2008. CD-ROM.
- CURRIE, H.A. & PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Ann. Bot.*, 100:1383-1389, 2007.
- DATNOFF, L.E., DEREN, C.W. & SNYDER, G.H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot.*, 16:525-531, 1997.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sunderland, Sinauer Associates, 2005. 400p.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 50:641-664, 1999.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 91:11-17, 1994.

- FARIA, R.J. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2000. 47p. (Tese de Mestrado).
- FAUTEUX, F.; REMUS-BOREL, W.W.; MENZIES, J.G. & BELANGER, R.R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. FEMS Microbiol. Lett., 249:1-6, 2005.
- FAWE, A.; ABOU, Z.M, MENZIES, J.G. & BÉLANGER, R.R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. Phytopathol., 88:396-401, 1998.
- FRANTZ, J.M.; LOCKE, J.C.; DATNOFF, L.; OMER, M.A.; WIDRIG, A; STURTZ, D.; HORST L. & KRAUSE, C.R. Detection, distribution, and quantification of silicon in floricultural crops utilizing three distinct analytical methods. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 39: 2734-275, 2008.
- GILLMAN, J.H.; ZLESAK, D.C. & SMITH, J.A. Applications of potassium silicate decrease black spot infection in *Rosa hybrida* 'Meipelta' (Fuschia Meidiland®). HortSci., 38:1144-1147, 2003.
- GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D. & GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. Sci. Agric., 62:547-551, 2005.
- HALEVY, A.H. & MAYAK, S. Improvement of cut flowers quality opening and longevity by pre-shipment treatments. Acta Hort., 43:335-347, 1974.
- HWANG, S.J.; JEONG, B.R. & PARK, H.M. Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose 'Pinocchio' grown on rockwool and its cut flower quality. J. Jpn. Soc. Hort. Sci., 74: 242-247, 2005.

- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H. & MIZUTANI, C.T.
Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. R. Bras. Ci. Solo, 23:101-106, 1999.
- LIANG, Y.; ZHANG, W.; CHEN, Q. & DING, R. Effects of silicon on H⁺-ATPase and H⁺-PPase activity, fatty acid composition and fluidity of tonoplast vesicles from roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). Env. Exp. Bot., 53:29-37, 2005.
- LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. Plant Soil, 209:217-224, 1999.
- LIANG, Y.; CHEN, Q.; LIU, Q., ZHANG, W. & DING, R. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Plant Physiol., 160:1157-1164, 2003.
- LIANG, Y.; SUN, W.; ZHUB, Y.G & CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. Env. Poll., 47:422-428, 2007.
- LIANG, Y.; ZHU, J.; LI, Z.; CHU, G.; DING, Y.; ZHANG, J.U. & SUN, W. Role of silicon in enhancing resistance to freezing stress in two contrasting winter wheat cultivars. Environ. Exp. Bot., 64:286-294, 2008.
- LIANG, Y.; HUA, H.; ZHU, Y.G.; ZHANG, J.; CHENG, C. & RÖMHELD, V. Importance of plant species and external silicon concentration to active silicon uptake and transport. New Phytol., 172:63-72, 2006.
- LOCKE, J.C.; OMER, M.A; WIDRIG, A.K. & KRAUSE, C.R. Delay of expression of powdery mildew on zinnia grown hydroponically in Hoagland's solution fortified with silicon. Phytopathol., 96: S70. 2006.

- MA, J.F. & TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. *Plant Soil*, 126:115-119, 1990.
- MA, J.F. & YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol. Life Sci.*, 65:3049-3057, 2008.
- MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil. Sci. Plant. Nut*, 50:11-18, 2004
- MA, J.F.; MIYAKE, Y & TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.17-39.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MENZIES, J.G.; EHRET, D.L.; GLASS, A.D.M.; HELMER, T.; KOCH, C. & SEYWERD, F. Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathol.*, 81:84-88, 1991.
- MUIR, S.; KHOO, C.; MCCABE, B.; FENSOM, G.; OFFORD, C.; BRIEN, J. & SUMMERELL, B. Some effects of silicon in potting mixes on growth and protection of plants against fungal diseases. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.314.
- NELL, T.A.; BARRETT, J.E. & LEONARD, R.T. Production factors affecting postproduction quality of flowering potted plants. *Hortsci.*, 32:817-819, 1997.
- NEUMANN, D. & NIEDEN, U.Z. Silicon and heavy metal tolerance of higher plant. *Phytochemistry*, 56:685-692, 2001.

- NOWAK, J. & RUDNICKI, R.M. Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plant. Portland, Timber Press, 1990. 210p.
- RANGER, C.M.; SINGH, A.P.; FRANTZ, J.M.; CAÑAS, L.; LOCKE, J.C.; REDING, M.E. & VORSA, N. Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 38:129-136, 2009.
- REEZI, S.; BABALAR, M. & KALANTARI, S. Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt-stressed cut rose (*Rosa x hybrida*) 'Hot Lady'. *Afr. J. Biotechnol.*, 8:1502-1508, 2009.
- ROGALLA, H. & RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. *Plant. Cell. Environ.*, 25:549-555, 2002.
- ROUDE, N.; NELL, T.A. & BARRET, V.E. Nitrogen source and concentration growing medium and cultivar affect longevity of potted chrysanthemums. *HortSci.*, 26:49-52, 1991.
- SAVANT, N.K.; SNYDER, G.H. & DATNOFF, L.E. Silicon management and sustainable rice production. *Adv. Agron.*, 58:151-199, 1997.
- SAVVAS, D.; GIZAS, G.; KARRAS, G.; LYDAKIS-SIMANTIRIS, N.; SALAHAS, G.; PAPADIMITRIOU, M. & TSOUKA, N. Interactions between silicon and NaCl-salinity in a soilless culture of roses in greenhouse. *Eur. J. Hort. Sci.*, 72:73-79, 2007.
- SAVVAS, D.; MANOS, G.; KOTSIRAS, A. & SOUVALIOTIS, S. Effects of silicon and nutrient induced salinity on yield, flower quality, and nutrient uptake of gerbera grown in a closed hydroponic system. *J. Appl. Bot.*, 76:153-158, 2002.

- SHI, Q.; BAO, Z.; ZU, Z.; HE, Y.; QIAN, Q. & YU, J. Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumis sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. *Phytochemistry*, 66:1551-1559, 2005.
- SONNEVELD, C. Composition of nutrient solutions. In: SAVVAS, D. & PASSAM, H.C., eds. *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Athens, Embryo Publications, 2002. p.179-210.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K. & HIRATA, H., eds. *Science of the rice plant: physiology*. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p.420-433.
- VOOGT, W. & SONNEVELD, C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.115-131.
- YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. *Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. B*, 15:1-58, 1965.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A. Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 124p. (Dissertação de Mestrado).
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; CARVALHO, M.P.; BARBOSA, J.G.; GROSSI, J.A.S. & AVILA, V.T. Teores foliares de silício em variedades de crisântemo. In: *FertBio* 2008, v.28, Anais. Londrina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. CD-ROM.

ZHU, J.; LIANG, Y.C.; DING, Y.F. & LI, Z.J. Effects of silicon on photosynthesis and its related physiological parameters in two winter wheat cultivars under cold stress. *Sci. Agric. Sinica*, 39:1780-1788, 2006.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q. & YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.*, 167:527-533, 2004.

CAPÍTULO I¹

Produção de rosas e de girassol ornamental influenciadas pela aplicação de doses de silício no substrato

RESUMO

A utilização de Si no cultivo de algumas plantas ornamentais cultivadas em vasos em casa de vegetação tem proporcionado aumento na produção e qualidade do produto final. Objetivou-se com este estudo avaliar a produção e absorção de nutrientes de duas cultivares de roseira e uma cultivar de girassol ornamental cultivadas em vasos influenciadas pela aplicação de doses de Si no substrato. Foram conduzidos dois experimentos, em DBC, com quatro repetições. Em um, os tratamentos foram gerados pelo fatorial 2x5, composto por duas cultivares de roseira (Yellow Terrazza[®] e Red White Terrazza[®]) e cinco doses de Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹). No segundo ensaio foi avaliada a produção de girassol ornamental cv. Sunbright em função da aplicação das mesmas doses de Si no substrato. Foram avaliadas a altura da planta, ciclo, produção, diâmetro e longevidade floral e teores foliares e conteúdo de silício, macronutrientes e micronutrientes. Foi feita a análise de variância (ANOVA) dos dados ajustando-se equações de regressão para o efeito das doses de Si. A aplicação de Si no substrato aumentou os teores foliares de Si, melhorou a produção e a qualidade das rosas e do girassol produzidos em vasos em casa de vegetação, porém a resposta das plantas variou com as doses de Si. As doses de Si para se obter 90 % da produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram de 0,423 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza, 0,220 g kg⁻¹ para Red White Terrazza e 0,235 g kg⁻¹ para o girassol. Os efeitos negativos do Si foram observados à partir das doses de 0,86 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza, 0,55 g kg⁻¹ para Red White Terrazza e 0,66 g kg⁻¹ para o girassol.

Termos de Indexação: *Rosa hybrida* Vill., *Helianthus annuus* L., floricultura.

¹ Capítulo escrito conforme as normas de submissão para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

Production of roses and ornamental sunflower influenced by the silicon applied in drench

SUMMARY

The use of Si in the cultivation of potted ornamental plants in the greenhouse has provided increased production and final product quality. The objective of this study was to evaluate yield and nutrient uptake of two cultivars of rose and an ornamental sunflower grown in pots influenced by the silicon fertilization. Two experiments were conducted in randomized block design with four replications. In one, the treatments were generated by a 2x5 factorial, with two rose cultivars (Yellow Terrazza[®] and Red White Terrazza[®]) and five doses of Si (0; 0.25; 0.50; 0.75 and 1.00 g kg⁻¹). In a second experiment, were evaluated the production of ornamental sunflower cv. Sunbright according to the same doses of Si applied in drench. Were evaluated the plant height, cycle, yield, flower diameter and longevity and leaf levels and content of silicon, macronutrients and micronutrients. The Analysis of Variance (ANOVA) was performed and regression equations were adjusted for variables evaluated as a function of doses of Si. The Analysis of Variance (ANOVA) and regression analysis were performed with the equations adjusted for the variables studied as a function of the Si doses applied. The addition of Si in the drench increased the Si concentration in leaves, increased the yield and improved the quality of potted roses and sunflower, however, the plant response was variable according to the Si dose. The dose of Si necessary to produce 90 % of flower dry matter and maximal physical yield was 0.423 g kg⁻¹ for Yellow Terrazza rose, 0.220 g kg⁻¹ for Red White Terrazza rose and 0.235 g kg⁻¹ for the sunflower plants. The negative effects of Si were observed with doses above 0.86 g kg⁻¹ for the Yellow Terrazza rose, 0.55 g kg⁻¹ for the Red White Terrazza rose and 0.66 g kg⁻¹ for the sunflower plants.

Index Terms: *Rosa hybrida* Vill, *Helianthus annuus* L., floriculture.

INTRODUÇÃO

A participação do Brasil no mercado mundial de flores e plantas ornamentais ainda é pequena, mas cresce anualmente. Do final da década de 90 até o ano de 2008 houve um crescimento de 25 MUS\$ em exportações desses produtos (BRASIL, 2009). Historicamente a cultura da roseira (*Rosa* sp) tem importância econômica de destaque nesse mercado. O comércio dessa espécie movimentava valores da ordem de 10 GUS\$ anualmente (Guterman, 2002). O Brasil é um grande produtor de rosas, atendendo tanto o mercado externo como o interno, com grande potencial de crescimento na produção (Novaro, 2005). O girassol também ganhou destaque como planta ornamental, pelo desenvolvimento de cultivares com porte reduzido, ciclo curto e que não emitem pólen (Schoellhorn et al., 2003). Pode ser produzido tanto para comercialização como flor de corte ou em vasos (Budag & Silva, 2000).

O Si não é considerado um elemento essencial, levando-se em consideração os critérios clássicos postulados por Arnon & Stout (Epstein, 1999). Entretanto, Epstein & Bloom (2005) caracterizam-no como um elemento "quase essencial", no sentido de que maior crescimento e produtividade vegetal podem ser proporcionados pela aplicação do mesmo. Segundo esses autores é difícil provar cientificamente sua essencialidade, pois ele está amplamente distribuído na natureza, mas os efeitos benéficos de sua aplicação são muitos.

O rendimento das culturas pode ser aumentado por efeitos indiretos do Si na produção porque esse elemento aumenta a tolerância das plantas aos efeitos de estresses bióticos e abióticos aos quais elas estão sujeitas. Dentre os abióticos estão o déficit hídrico, baixas temperaturas, geadas, salinidade e toxidez provocada pelo excesso de disponibilidade de elementos no solo como Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, As, Na e B. Os bióticos são causados por doenças e pragas (Neumann & Nieden, 2001; Fauteax et al.,

2005, Ma & Yamagi, 2008). Na maioria dos casos, porém, é incerto se a maior produtividade decorre de efeito nutricional ou se é devido à amenização dos estresses, proporcionada pelo Si (Epstein & Bloom, 2005).

A maioria destes benefícios proporcionados pelo Si deve-se à camada de sílica que se acumula abaixo da cutícula e ao Si livre no apoplasto, funções principalmente estruturais, que conferem maior rigidez e resistência aos tecidos vegetais. Epstein (1999), Liang et al. (2003) e Zhu et al. (2004) mencionam que o Si está envolvido direta ou indiretamente no metabolismo celular e ressaltam não haver esclarecimento sobre o seu mecanismo de ação. Atualmente, o conhecimento sobre o Si nas plantas ainda parece ser insuficiente para que se estabeleça alguma função direta desse elemento nos processos fisiológicos e bioquímicos da planta.

Geralmente, monocotiledôneas da família Poaceae, como o arroz, trigo e cana-de-açúcar são claramente favorecidas pela aplicação do Si (Epstein, 1999; Ma & Yamagi, 2008). Também, algumas dicotiledôneas (como a maioria das plantas ornamentais) respondem positivamente a aplicação deste elemento (Gillman et al., 2003; Ehret et al., 2005; Hwang et al., 2005; Kamenidou et al., 2008; Carvalho et al., 2009a)

Espécies ornamentais como gébera, cravo, áster, poinsetia, violeta, zínnia, girassol e crisântemo acumulam Si em seus tecidos, em quantidades razoáveis (Voog & Sonneveld, 2001; Zanão Júnior et al., 2008; Carvalho et al., 2009a). Foram verificados efeitos benéficos deste elemento em muitas destas plantas, devendo-se mencionar que esses efeitos são variáveis e dependem fortemente da espécie vegetal.

Embora o Si seja encontrado em quantidades limitadas nos substratos de cultivo, ou na solução nutritiva de sistemas hidropônicos usados para produção de plantas ornamentais, o que indica possibilidade de resposta positiva à sua aplicação, sua utilização nessa produção não é normalmente considerada. O efeito do Si na nutrição de

espécies ornamentais de interesse econômico e o efeito da aplicação de doses deste elemento na produção dessas espécies devem ser objeto de estudos. O objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta de duas cultivares de roseira de vaso e uma de girassol ornamental em função da aplicação de doses de Si no substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de outubro a dezembro de 2008. As temperaturas médias mínimas e máximas diárias foram de 17,3 e 33,9 °C, respectivamente, e umidade relativa do ar com variações médias diárias, diurnas e noturnas, de 65,6 e 85,5 %, respectivamente.

No primeiro experimento, os tratamentos foram gerados pelo fatorial 2×5 [2 cultivares (Yellow Terrazza, YT e Red White Terrazza, RWT) de roseira (*Rosa hybrida* Vill.) e cinco doses de Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹, equivalentes à 0; 0,15; 0,30; 0,45 e 0,60 g/vaso de Si)], em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Cada unidade experimental foi formada por um vaso com duas plantas. As mudas, com dois pares de folhas completas, foram individualmente transplantadas para vasos plásticos (10 cm de altura e 800 cm³ de volume), contendo 600 g de substrato comercial Plantmax[®]. Após o transplante e aclimação das mudas procedeu-se a poda deixando duas folhas completas por haste.

No segundo experimento, foi cultivado o girassol ornamental (*Helianthus annuus* L.). Foram avaliadas as mesmas doses de Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹ equivalentes à 0, 0,15; 0,30 e 0,60 g/vaso Si) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A unidade experimental consistiu de um vaso plástico (10 cm de altura e 800 cm³ de volume), contendo 600 g de substrato comercial Plantmax[®], com uma planta em cada vaso. As mudas de girassol foram obtidas a partir de sementes da

cultivar Sunbright (Sakata Seed Sudamérica Ltda). Após 6 d de emergência, as plântulas com cerca de 8 cm de altura e uma folha definitiva totalmente expandida foram transplantadas para os vasos.

Como fonte de Si utilizou-se o metasilicato de potássio (K_2SiO_3), com 120 g kg^{-1} de Si e 150 g kg^{-1} de K_2O . As plantas que não receberam a aplicação do K_2SiO_3 e as que receberam doses menores de Si receberam o KCl para fornecer K, balanceando o elemento entre os tratamentos. O K_2SiO_3 é um produto líquido de reação alcalina ($pH > 10$), assim, o pH da solução foi ajustado para 6,0 com adição de HCl 2 mol L^{-1} . Após 10 d do transplântio (DAT) das mudas das roseiras iniciou-se a aplicação das doses de Si. No caso do girassol, aos 15 DAT realizou-se a primeira aplicação das doses, que estenderam-se por cinco semanas, assim como nas roseiras. Em cada semana foi aplicado o equivalente a 20 % da respectiva dose total.

A irrigação foi realizada diariamente alternando-se aplicação de água com aplicação de solução nutritiva. Durante a condução dos experimentos, foram aplicados, em mg kg^{-1} : 200 N; 350 P; 150 Ca; 100 Mg; 80 S; 1,2 B; 0,5 Cu; 2 Fe; 1,5 Mn; 0,1 Mo; 1 Zn.

Na descrição do período das avaliações das características fisiológicas e fitotécnicas das roseiras, utilizou-se a escala de estágio de abertura floral proposta por Cushman et al. (1994): 1, botão floral fechado; 2, pétalas fechadas e sépalas abertas; 3, início de abertura das pétalas (tradicional estágio de botão floral); 4, diversas pétalas abertas; 5, botão floral completamente aberto e 6, vida de vaso estava terminada (murcha e, ou, escurecimento de mais de uma pétala).

No estágio 2 de abertura floral foi avaliada a altura da planta, medida a partir da borda superior do vaso até a extremidade do botão floral. O diâmetro floral foi avaliado no estágio 5. O ciclo foi determinado pelo número de dias entre a poda e o

estádio 2 e a longevidade floral pelo número de dias entre o estágio 2 e o estágio 6 de abertura floral.

Na cultura do girassol aplicou-se o retardante de crescimento paclobutrazol (PBZ). A aplicação foi semanal, via substrato e cada vaso recebeu o total de 6,5 mg de PBZ durante a condução do experimento. As brotações laterais foram eliminadas quando as plantas estavam no estágio R5 (começo da floração) da escala de Schneiter & Miller (1981).

O ciclo do girassol foi determinado pelo período compreendido entre o transplântio e a visualização de pelo menos uma lígula visível e expandida. A longevidade foi determinada entre esse ponto descrito anteriormente e o aparecimento de pelo menos uma lígula murcha e enrolamento das flores do raio.

Quando os girassóis apresentaram o capítulo com mais de 50 % das flores abertas, correspondendo ao estágio R5.5 da escala de Schneiter & Miller (1981), foram avaliados o diâmetro das inflorescências e a altura da planta, desde a região do coleto até a inserção do capítulo.

Após as avaliações, para obtenção da produção de matéria seca da parte aérea (g/planta), cada parte das plantas (folhas, caule e flores) foi lavada com água destilada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, até massa constante e posteriormente pesadas e somadas.

Em seguida, as folhas foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de malha 0,84 mm. A matéria seca foi mineralizada pela mistura nítrico-perclórica (3:1 v v⁻¹), determinando-se os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; os de K foram determinados por fotometria de emissão de chama e os de P por colorimetria. Para determinar o teor de N, utilizou-se o método semimicro Kjeldahl, com mineralização das amostras com ácido sulfúrico. Os teores de B foram

determinados pelo método colorimétrico da Azometina H, após a incineração das amostras. Os teores de Si foram determinados pelo método da digestão alcalina e dosagem pelo método colorimétrico descrito por Korndörfer et al. (2004).

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão para as variáveis avaliadas em função de doses de Si, sendo os coeficientes testados até 10 % de probabilidade pelo teste F. Os modelos testados para as variáveis em estudo foram: linear, raiz quadrático, quadrático e cúbico. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, no significado biológico e no coeficiente de determinação.

As equações de regressão para produção de matéria seca de flores em função das doses de Si foram utilizadas para determinação da dose para se obter 90 % da produção obtida com a dose de máxima produção física ($\hat{y}_{Máx}$) (Alvarez, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultivar Yellow Terrazza apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea e de folhas assim como maior altura da haste e maior diâmetro floral não havendo diferença na produção de matéria seca de flores, no ciclo, na longevidade floral e no número de flores por planta entre as duas cultivares de roseira (Quadro 1). Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al. (2009b), estudando aplicação de retardantes de crescimento em plantas dessas duas cultivares. Em média, as roseiras floresceram aos 42,47 d, produzindo 2,33 flores por planta, com produção de matéria seca de flores de 1,06 g e longevidade de 11,51 d.

Quadro 1. Médias para duas cultivares de roseira de produção de matéria seca da parte aérea, flores, altura, ciclo, diâmetro e longevidade floral e teores de micronutrientes e silício em folhas (n = 20).

Avaliação	Yellow Terrazza	Red White Terrazza	CV %
Produção de matéria seca da parte aérea, g/planta	4,40 a	3,35 b	13,83
Produção de matéria seca de folhas, g/planta	0,79 a	0,61 b	14,48
Produção de matéria seca de flores, g/planta	1,14 a	0,98 a	16,24
Altura da haste floral, cm	20,90 a	15,02 b	10,98
Ciclo, d	42,96 a	41,67 a	22,53
Longevidade floral, d	11,07 a	11,95 a	13,80
Diâmetro floral, cm	7,46 a	6,57 b	4,41
Flores por planta	2,18 a	2,47 a	14,24
Teor foliar de N, g kg ⁻¹	31,18 a	32,28 a	4,77
Teor foliar de P, g kg ⁻¹	2,56 b	2,88 a	7,14
Teor foliar de K, g kg ⁻¹	21,30 a	21,43 a	8,46
Teor foliar de Ca, g kg ⁻¹	14,29 a	13,32 b	6,91
Teor foliar de Mg, g kg ⁻¹	2,54 b	2,79 a	5,26
Teor foliar de S, g kg ⁻¹	6,60 a	7,00 a	5,45
Teor foliar de B, mg kg ⁻¹	42,79 b	46,76a	9,73
Teor foliar de Cu, mg kg ⁻¹	9,59 a	9,73 a	15,80
Teor foliar de Fe, mg kg ⁻¹	95,88 b	108,78 a	14,93
Teor foliar de Mn, mg kg ⁻¹	103,34 a	88,33 b	4,11
Teor foliar de Zn, mg kg ⁻¹	57,17 a	58,92 a	6,75
Teor foliar de Si, g kg ⁻¹	4,89 a	4,60 b	13,76
Conteúdo foliar de N, mg/planta	24,64 a	20,18 b	14,99
Conteúdo foliar de P, mg/planta	2,03 a	1,79 b	15,57
Conteúdo foliar de K, mg/planta	16,80 a	13,34 b	15,39
Conteúdo foliar de Ca, mg/planta	11,69 a	8,34 b	17,83
Conteúdo foliar de Mg, mg/planta	2,00 a	1,74 b	16,07
Conteúdo foliar de S, mg/planta	5,20 a	4,40 b	14,23
Conteúdo foliar de B, µg/planta	33,73 a	29,23 b	42,74
Conteúdo foliar de Cu, µg/planta	7,61 a	6,16 b	15,01
Conteúdo foliar de Fe, µg/planta	75,36 a	67,90 a	17,25
Conteúdo foliar de Mn, µg/planta	81,84 a	54,65 b	14,89
Conteúdo foliar de Zn, µg/planta	45,18 a	36,76 b	15,96
Conteúdo foliar de Si, mg/planta	3,87 a	2,88 b	20,22

Médias seguidas por letras distintas na linha diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste F.

Comparando-se as duas cultivares, a Red White Terrazza apresentou maiores teores foliares de Mg, P, B e Fe, enquanto os de Ca, Mn e Si foram maiores na Yellow Terrazza, não havendo diferenças para N, K, S, B, Cu e Zn (Quadro 1). A variação nos parâmetros cinéticos de absorção de nutrientes e as diferenças morfológicas do sistema radicular (Anghinoni et al., 1989; Borges et al., 2009) fazem com que a absorção diferenciada de nutrientes por cultivares de uma mesma espécie seja bastante comum.

As médias dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S e Si (g kg^{-1}) foram 31,18; 2,56; 21,30; 14,29; 2,54; 6,60; 4,89 para Yellow Terrazza e 32,28; 2,88; 21,43; 13,32; 2,79; 7,00 e 4,60 para Red White Terrazza. Para B, Cu, Fe, Mn e Zn, essas médias (mg kg^{-1}) foram 42,79; 9,59; 95,88; 103,34 e 57,17 para Yellow Terrazza e 46,76; 9,73; 108,78; 88,33 e 58,92 para Red White Terrazza (Quadro 1). Todos esses valores estão dentro da faixa considerada adequada para a cultura da roseira (Martinez et al., 1999). Como informações sobre teores e conteúdo de nutrientes e silício folhas de plantas ornamentais produzidas em vasos são escassas, os valores médios dos mesmos, obtidos em cada dose foram apresentados no presente trabalho (Quadros 2-7).

Quadro 2. Teores foliares de macronutrientes em duas cultivares de roseira em função da aplicação de doses de silício no substrato.

Cultivar	Dose de Si g kg^{-1}	Teor foliar					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Yellow Terrazza	0,00	31,41	2,39	25,00	14,64	2,78	6,72
	0,25	32,71	2,44	21,00	14,93	2,55	7,06
	0,50	29,07	2,45	20,00	13,66	2,28	5,93
	0,75	30,46	2,81	19,50	12,96	2,56	6,35
	1,00	32,24	2,72	21,00	15,24	2,52	6,93
Red White Terrazza	0,00	31,56	2,95	22,33	12,73	2,79	7,13
	0,25	32,61	2,88	23,33	13,55	2,51	7,14
	0,50	32,81	2,96	20,00	13,96	2,79	6,74
	0,75	31,97	2,70	20,00	13,05	2,89	6,92
	1,00	32,44	2,93	21,50	13,33	3,00	7,03

Houve diferença entre as duas cultivares em relação às quantidades de nutrientes e Si acumulados nas folhas (Quadro 1) com a cultivar Yellow Terrazza apresentando maior conteúdo de macronutrientes, Si e micronutrientes, excetuando-se o Fe, para o qual não houve diferença estatística entre as cultivares. Deve-se ressaltar que a cultivar Yellow Terrazza foi a que apresentou maior produção de matéria seca de folhas, conseqüentemente acumulou mais nutrientes (Quadro 1).

Quadro 3. Teores foliares de micronutrientes e silício em duas cultivares de roseira em função da aplicação de doses de silício no substrato.

Cultivar	Dose de Si	Teor foliar						
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	
	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹						g kg ⁻¹
Yellow Terrazza	0,00	52,70	9,71	158,00	126,30	66,90	3,57	
	0,25	52,40	9,72	125,30	118,00	55,10	4,10	
	0,50	36,75	9,66	90,90	101,32	53,70	4,87	
	0,75	31,75	9,41	79,80	90,90	55,15	5,67	
	1,00	40,35	9,46	45,05	80,20	55,00	6,23	
Red White Terrazza	0,00	46,33	9,83	150,00	113,20	56,73	3,53	
	0,25	47,20	9,67	128,42	97,60	57,13	4,20	
	0,50	46,50	9,58	119,67	85,97	58,50	4,50	
	0,75	47,73	10,27	92,68	75,05	62,10	4,90	
	1,00	46,05	10,02	72,33	69,85	60,15	5,87	

Quadro 4 Teores de macronutrientes, micronutrientes e silício em folhas de girassol ornamental cv. Sunbright em função da aplicação de doses de Si no substrato.

	Dose de Si	Teor foliar						
		N	P	K	Ca	Mg	S	
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹						
Macronutrientes	0,00	39,47	4,90	40,00	23,04	7,80	13,40	
	0,25	39,01	5,20	40,42	22,47	7,99	13,70	
	0,50	38,37	4,87	39,58	23,77	8,05	14,90	
	0,75	38,05	4,82	41,25	24,16	7,99	14,50	
	1,00	37,76	4,72	39,92	23,57	7,93	13,40	
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	
		mg kg ⁻¹						g kg ⁻¹
Micronutrientes e silício	0,00	126,00	5,97	128,97	145,00	55,30	6,62	
	0,25	125,10	6,33	128,40	153,50	58,90	10,14	
	0,50	127,80	7,60	125,65	150,37	59,50	12,96	
	0,75	125,90	6,65	124,30	146,35	56,73	14,27	
	1,00	129,20	6,58	121,77	144,25	56,00	15,48	

A ordem sequencial de conteúdo de macronutrientes e Si nas folhas (mg/planta) das duas cultivares foi a mesma, sendo que para a YT a ordem foi N (24,64) > K (16,80) > Ca (11,69) > S (5,20) > Si (3,87) > P (2,03) > Mg (2,00) e para a RWT foi N (20,18) > K (13,34) > Ca (8,34) > S (4,40) > Si (2,88) > P (1,79) > Mg (1,74). No caso dos micronutrientes essa ordem sequencial (µg/planta) foi diferente entre as cultivares, com Mn (81,84) > Fe (75,36) > Zn (45,18) > B (33,73) > Cu (7,61) para YT e Fe (67,90) > Mn (54,65) > Zn (36,76) > B (29,23) > Cu (6,16) para RWT. Villas Bôas et al. (2008),

avaliando a extração de nutrientes por doze cultivares de roseira em ambiente protegido também verificaram que a maioria delas apresentou esta mesma ordem de conteúdo de macronutrientes. Quanto ao conteúdo de micronutrientes, a ordem de extração das doze cultivares avaliadas se assemelhou à da YT.

Quadro 5. Conteúdo foliar de macronutrientes em duas cultivares de roseira em função da aplicação de doses de silício no substrato.

Cultivar	Dose de Si	Teor foliar					
		N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹	mg/planta					
Yellow Terrazza	0,00	22,42	1,71	17,95	10,47	1,99	4,82
	0,25	26,71	1,99	17,11	12,19	2,08	5,71
	0,50	25,99	2,19	17,92	12,34	2,05	5,31
	0,75	23,92	2,20	15,29	12,00	2,01	4,93
	1,00	24,18	2,04	15,73	11,43	1,88	5,22
Red White Terrazza	0,00	14,97	1,40	10,64	6,02	1,33	3,42
	0,25	24,67	2,16	17,35	10,24	1,88	5,41
	0,50	22,06	1,99	13,52	9,33	1,88	4,53
	0,75	21,05	1,78	13,19	8,64	1,90	4,64
	1,00	18,15	1,65	11,98	7,48	1,69	3,95

Quadro 6. Conteúdo foliar de micronutrientes e silício em duas cultivares de roseira em função da aplicação de doses de silício no substrato.

Cultivar	Dose de Si	Teor foliar					
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg ⁻¹	µg/planta					
Yellow Terrazza	0,00	37,77	6,95	98,01	90,34	48,17	2,53
	0,25	42,79	7,93	102,33	96,40	45,02	3,35
	0,50	32,93	8,67	80,60	91,05	48,22	4,31
	0,75	24,92	7,39	62,36	71,32	43,27	4,49
	1,00	30,25	7,09	33,51	60,09	41,23	4,68
Red White Terrazza	0,00	22,11	4,70	62,41	53,87	27,07	1,66
	0,25	35,45	7,26	95,81	73,27	42,88	3,15
	0,50	31,29	6,77	80,22	57,77	39,27	3,03
	0,75	31,48	6,45	62,18	49,38	41,02	3,25
	1,00	25,81	5,60	38,87	38,96	33,58	3,30

Na cultura do girassol, os teores de N, P, K, Ca, Mg, S e Si, em g kg⁻¹, variaram nos intervalos 37,76-39,47; 4,72-5,20; 39,58-41,25; 22,47-24,16; 7,80-8,05; 13,40-

14,90 e 6,62-15,48, respectivamente. Os teores foliares de B, Cu, Fe, Mn e Zn, em mg kg^{-1} , variaram nos intervalos 125,10-129,20; 5,97-7,60; 121,77-128,97; 144,25-153,50; 55,30-59,50, respectivamente (Quadro 4). Como ainda não há na literatura informações sobre teores foliares de nutrientes adequados para o girassol ornamental, fez-se a comparação dos dados com os considerados ideais (Martinez et al., 1999) para o girassol cultivado para a produção de grãos, encontrando-se adequação apenas para os teores foliares de P. Os teores de N, K, Ca, S e B estão ligeiramente acima da faixa considerada adequada e os teores Mg, Cu, Fe, Mn e Zn estão em uma faixa ligeiramente abaixo. Entretanto, não foram observados sintomas visuais de toxidez ou deficiência de nenhum elemento.

Quadro 7. Conteúdo de macronutrientes, micronutrientes e silício em folhas de girassol ornamental cv. Sunbright em função da aplicação de doses de Si no substrato.

	Dose de Si g kg^{-1}	Teor foliar					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Macronutrientes	0,00	246,18	30,58	249,72	143,75	48,60	83,47
	0,25	247,64	32,96	256,26	142,32	50,69	87,07
	0,50	287,46	36,46	297,72	176,84	60,25	111,88
	0,75	261,26	33,14	284,02	166,39	54,96	100,14
	1,00	245,55	31,29	264,91	156,04	52,58	88,87
			B	Cu	Fe	Mn	Zn
Micronutrientes e silício	0,00	785,87	37,23	804,26	957,11	345,08	41,20
	0,25	797,25	40,12	818,16	953,71	373,58	64,52
	0,50	957,47	56,76	940,34	1095,21	445,62	96,52
	0,75	866,93	45,86	852,90	1001,43	390,52	97,65
	1,00	856,61	43,59	807,25	958,21	371,54	102,04
			$\mu\text{g/planta}$				

O conteúdo médio foliar dos macronutrientes e Si (mg/planta) em ordem decrescente nas folhas do girassol ornamental foi: K (270,53) > N (257,62) > Ca (157,07) > S (94,29) > Si (80,39) > Mg (53,42) > P (32,89). No caso dos micronutrientes ($\mu\text{g/planta}$) essa ordem foi: Mn (993,13) > Fe (844,58) > B (852,82) > Zn (385,27) > Cu (44,71) (Quadro 7). Em trabalho recente, Zobiolo et al (2010) observou resultado semelhante em plantas de girassol, cv. BRS 191. Na cultura do

girassol granífero, o K é o nutriente mais acumulado pela planta, seguido pelo N (Blamey et al., 1997). Os resultados do presente trabalho mostram que o girassol ornamental segue a mesma tendência. Deve ser ressaltado que tanto nas cultivares de roseira quanto no girassol houve maior conteúdo de Si do que de P e Mg. Em trabalho recente, Zanão Júnior et al. (2010) mostraram que na cultura do arroz houve maior conteúdo de Si nas folhas do que de todos os macronutrientes. Gunes et al. (2008) verificaram que a maioria das treze cultivares de girassol avaliadas por eles acumularam mais Si que P, Mg e S.

As cultivares de roseira diferiram quanto ao teor e conteúdo de Si (Quadro 1), com YT apresentando maior teor ($4,89 \text{ g kg}^{-1}$) e conteúdo ($3,87 \text{ mg/planta}$) de Si no tecido foliar. De forma semelhante, Winslow et al. (1997) encontraram diferenças genotípicas no que se refere à absorção de Si na cultura do arroz. Anteriormente, Deren et al. (1993) haviam observado isso na cultura da cana-de-açúcar e, mais recentemente, Zanão Júnior et al. (2008) observaram o mesmo na cultura do crisântemo.

De acordo com os teores de Si e a razão Si:Ca encontrados nos tecidos foliares, as plantas são consideradas acumuladoras de Si quando apresentam mais que 10 g kg^{-1} de Si e Si:Ca > 1 ; intermediárias, com teores de Si entre $5 \text{ e } 10 \text{ g kg}^{-1}$ ou até superior a 10 g kg^{-1} , porém com Si:Ca < 1 e não-acumuladoras quando apresentam menos que 5 g kg^{-1} de Si nas folhas (Ma et al., 2001). Nas doses acima de $0,50 \text{ g kg}^{-1}$ de Si, o teor foliar de Si nas cultivares YT e RWT (Quadro 3) e razão Si:Ca indicam que elas podem ser classificadas como intermediárias no conteúdo de Si. No caso do girassol ornamental, a indicação é que a cultivar avaliada pode ser classificada como planta acumuladora de Si, assim como verificado por Carvalho et al. (2009a) (Quadro 4). Como visto, nas menores doses de Si as plantas as roseiras foram consideradas não acumuladoras de Si. Quando a dose foi aumentada ($> 0,50 \text{ g kg}^{-1}$ de Si), a classificação foi alterada, passando a serem

classificadas como intermediárias na acumulação desse elemento. Portanto essa classificação precisa ser revista, principalmente porque recentemente foram descobertos tranpostadores de Si em raízes de plantas como arroz, milho e aveia, conhecidamente acumuladoras de Si e a presença do transportador indica que a planta absorve Si ativamente (Ma & Yamaji, 2008). Uma outra alternativa seria estabelecer doses de Si e Ca padronizadas para que as plantas sejam cultivadas com as mesmas. Após o cultivo, procede-se a análise foliar e classificam-se as plantas.

Houve resposta às doses de Si aplicadas no substrato, tendo como resultado o aumento da produção da matéria seca da parte aérea, de folhas e de flores e o diâmetro floral das duas cultivares de roseira e do girassol, ajustando-se ao modelo quadrático. Quanto à altura das plantas, verificou-se efeito das doses apenas nas roseiras (Quadro 8). Para ciclo da cultura e longevidade floral não houve efeito das doses de Si aplicadas para nenhuma das espécies avaliadas.

Gunes et al. (2008), Kamenidou et al. (2008) e Carvalho et al. (2009a) também verificaram aumento de produção de matéria seca da parte aérea com o fornecimento de Si na cultura do girassol. Ehret et al. (2005), cultivando duas cultivares de miniroseiras em sistema hidropônico, com a dose de $1,7 \text{ mmol L}^{-1}$ de Si, verificaram que este elemento proporcionou aumento na altura da planta, diâmetro do caule e produção de matéria seca da parte aérea em relação à não adição desse elemento. Assim como verificado no presente trabalho, o Si não interferiu no número de flores por planta. Hwang et al. (2005), avaliando a aplicação de metassilicato de K no substrato, na dose de 200 mg L^{-1} de Si, verificaram que houve aumento na altura das plantas, produção de matéria seca da parte aérea e raízes, altura das plantas e, também, que o Si não interferiu no ciclo das roseiras.

Quadro 8. Equações da produção de matéria seca (PMS) da parte aérea, de folhas e de flores, altura da planta; diâmetro e longevidade floral e ciclo de duas cultivares de roseira e uma de girassol ornamental, produzidos em vaso, em função da aplicação de doses de silício no substrato.

	Equação	R ²
Rosa - Yellow Terrazza		
PMS parte aérea, g/planta	$\hat{y} = 4,085 + 2,358 x - 2,116^{**}x^2$	0,812
PMS folhas, g/planta	$\hat{y} = 0,721 + 0,549 x - 0,526^{*}x^2$	0,804
PMS flores, g/planta	$\hat{y} = 0,928 + 1,511 x - 0,878^{*}x^2$	0,877
Altura da planta, cm	$\hat{y} = 18,752 + 13,432 x - 10,782^{*}x^2$	0,963
Diâmetro da flor, cm	$\hat{y} = 7,599 + 2,368^{\circ}x - 3,244^{*}x^2$	0,924
Longevidade floral, d	$\hat{y} = \bar{y} = 11,072$	
Ciclo, d	$\hat{y} = \bar{y} = 42,964$	
Rosa - Red White Terrazza		
PMS parte aérea, g/planta	$\hat{y} = 2,928 + 3,585 x - 3,591^{**}x^2$	0,888
PMS folhas, g/planta	$\hat{y} = 0,509 + 0,808 x - 0,778^{*}x^2$	0,745
PMS flores, g/planta	$\hat{y} = 0,830 + 1,131 x - 1,029^{*}x^2$	0,853
Altura da planta, cm	$\hat{y} = 14,312 + 10,239 x - 10,782^{*}x^2$	0,715
Diâmetro da flor, cm	$\hat{y} = 6,285 + 2,537^{\circ}x - 2,106^{*}x^2$	0,962
Longevidade floral, d	$\hat{y} = \bar{y} = 12,015$	
Ciclo, d	$\hat{y} = \bar{y} = 41,674$	
Girassol cv. Sunbright		
PMS parte aérea, g/planta	$\hat{y} = 17,918 + 2,449 x - 0,299^{**}x^2$	0,920
PMS folhas, g/planta	$\hat{y} = 6,102 + 3,549 x - 2,878^{*}x^2$	0,625
PMS flores, g/planta	$\hat{y} = 8,676 + 8,371 x - 6,341^{**}x^2$	0,906
Altura da planta, cm	$\hat{y} = \bar{y} = 55,085$	
Diâmetro da flor, cm	$\hat{y} = 8,039 + 1,068 x - 0,161^{*}x^2$	0,983
Longevidade floral, d	$\hat{y} = \bar{y} = 11,353$	
Ciclo, d	$\hat{y} = \bar{y} = 61,885$	

^o, *, ** = significativo a 10,0; 5,0 e 1,0 %, respectivamente, pelo teste F.

O diâmetro floral é uma característica que é levada em conta para classificação comercial de algumas espécies de plantas ornamentais. No presente trabalho, observou-se aumento no diâmetro floral (Quadro 8) tanto nas cultivares de roseira quanto na de girassol. Carvalho et al (2009a) também verificaram tal fato no girassol e Kamenidou et al. (2009, 2010), em gérbera e zínnia.

Em alguns trabalhos (Liang et al., 1994 e Mauad et al., 2003), a aplicação de Si não proporcionou alterações significativas na produção de matéria seca de partes vegetativas do arroz, diferentemente das respostas positivas observadas para girassol e roseira no presente trabalho. Segundo Zanão Júnior et al. (2010), a ausência de resposta ao Si em alguns trabalhos talvez se deva às doses baixas utilizadas ou até mesmo doses

muito elevadas, pois segundo Birchall (1995), pode haver a polimerização e produção de partículas coloidais de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Outro fator, também levantado por Zanão Júnior et al. (2010) que também pode contribuir para a ausência de resposta seria a utilização de fontes de Si com baixa solubilidade e o teor de Si no solo ou substrato estar acima do nível crítico. Assim, fontes de Si com maior solubilidade tornam-se importantes em estudos envolvendo este elemento. Kamenidou et al. (2008) avaliaram três fontes de Si na cultura do girassol ornamental e verificaram que todas foram eficientes no fornecimento deste elemento e no aumento da qualidade da inflorescência. Eles utilizaram como fontes de Si, casca de arroz carbonizada (100 mg kg^{-1} de Si) e metassilicato de K (140 mg kg^{-1} de Si) aplicado uma única vez incorporado ao substrato e aplicado semanalmente no substrato como solução de metassilicato de K (50 mg L^{-1} de Si), não sendo mencionado o volume aplicado por vaso nem o volume de metassilicato de sódio (100 mg L^{-1} de Si) aplicado semanalmente via foliar.

Todos os benefícios alcançados com a aplicação do Si, como aumento da produção de matéria seca e diâmetro dos capítuos (Quadro 8), foram possíveis porque o girassol comportou-se como planta acumuladora de Si. O Si é um elemento conhecido por minimizar vários fatores de estresse sofridos por plantas (Epstein, 1999). Sua presença na maioria dos substratos utilizados na floricultura ocorre em baixas quantidades, o que leva à indagação de qual será a resposta das plantas à sua adição aos programas de adubação dessas culturas, principalmente em sistema de cultivo em substratos. Estudos devem ser implementados visando esclarecer como é essa resposta. O Si pode ser utilizado no manejo integrado de pragas e doenças. Estudo com rosas mostrou que a aplicação de Si proporcionou maior resistência da roseira à pinta preta (Gillman et al., 2003), importante doença desta cultura. E aumentou a resistência de zínnia a pulgão (Ranger et al., 2009). Na Holanda, há recomendação de adição de Si à

solução nutritiva em cultivos hidropônicos na produção de culturas como curcubitáceas e rosas pelos efeitos benéficos do Si (De Kreij et al., 1999).

Não foi verificada diferença entre os teores foliares de N, P, Ca, S, B, Cu e Zn em função das doses de Si aplicadas no substrato tanto para Yellow Terrazza quanto para Red White Terrazza. Os teores foliares de K e Mg apresentaram tendência de queda nas doses intermediária de Si e posterior aumento com as doses, evidenciando o “efeito diluição” (maior crescimento vegetativo em relação à quantidade de nutriente absorvida). Os teores foliares de Fe e Mn apresentaram diminuição linear em função do aumento da dose de Si aplicada, também nas duas cultivares (Quadro 9). No girassol ornamental, os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, B e Fe não diferiram em função da dose de Si enquanto que os teores de Mn diminuíram com o aumento das doses de Si aplicadas no substrato. Os teores foliares de S e Cu apresentaram tendência de aumento até se atingir as doses intermediárias de Si com posterior queda nas maiores doses. A relação entre teores foliares e doses ajustou-se ao modelo quadrático (Quadro 9).

Os conteúdos foliares de K, Mg, S, B e Zn não apresentaram diferença em função da dose de Si aplicada no substrato para as cultivares de roseiras. Para o girassol não houve diferença no acúmulo de K, Mg e B. O conteúdo foliar de N, P, Ca, Cu nas duas cultivares de roseira e de N, P, Ca, S, Cu, Fe e Zn nas folhas do girassol apresentaram aumento até as doses intermediárias de Si e posterior queda nas maiores doses (Quadros 9 e 10), acompanhando a tendência da produção de matéria seca da parte aérea, pois o conteúdo é avaliado com base na produção de matéria seca da parte avaliada. Torna-se importante avaliar o conteúdo e os teores dos nutrientes ao mesmo tempo. São variáveis distintas, cujos resultados são interdependentes e que às vezes, dão informações diferentes e complementares, principalmente quando o fator em estudo é a dose do elemento aplicada, essencial, benéfico ou tóxico, e seu efeito na planta.

Nas duas cultivares de roseira e no girassol houve diminuição do conteúdo foliar de Mn com o aumento da dose de Si. Estes resultados coincidem com vários relatos na literatura e reafirmam um dos maiores benefícios do Si que é a redução da toxidez por Mn (Iwasaki et al., 2002; Rogalla & Römheld, 2002). Estes autores também verificaram menores teores de Mn nas folhas de plantas supridas com Si. Todavia, não foram observados sintomas visuais de deficiência de Mn.

Não foi realizada análise no substrato para se determinar as diferentes formas de Si no mesmo, por não terem métodos disponíveis para tal, sendo necessários desenvolvê-los. Principalmente porque há uma diversidade grande de materiais que compõem os substratos utilizados na produção de plantas ornamentais. Algumas são fonte de Si como a casca de arroz carbonizada. Porém, pelo teor foliar médio de 3,55 g kg⁻¹ de Si nas roseiras e de 6,62 g kg⁻¹ nos girassóis que não receberam Si, há indicação de que o substrato disponibilizou esse elemento para as plantas. Werner & Roth (1983), em cultivo sem adição de Si, encontraram teor foliar médio de 3,55 g kg⁻¹ Si para roseira e 4,10 g kg⁻¹ para girassol, atribuindo tal concentração à presença do Si no substrato, nos sais de nutrientes, na água, e no ar, mesmo após cuidadosa purificação desses componentes do meio.

Os teores foliares de Si em função das doses aplicadas nas roseiras e no girassol se ajustaram ao modelo linear (Quadros 9 e 10). O maior conteúdo foliar de Si ocorreu, não só por causa da maior massa de matéria seca, mas também porque o elemento foi adicionado à solução nutritiva na forma em que a planta o absorve e utilizando a fonte adequada.

Quadro 9. Equações dos teores foliares de potássio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco e silício em folhas de duas cultivares de roseira e uma de girassol ornamental, produzidos em vaso, em função da aplicação de doses de silício no substrato.

	Equação	R ²
Rosa - Yellow Terrazza		
Teor foliar de N, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 31,18$	
Teor foliar de P, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 2,56$	
Teor foliar de K, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 24,84 - 16,943 x + 13,143*x^2$	0,983
Teor foliar de Ca, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 14,29$	
Teor foliar de Mg, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 2,773 - 1,267 x + 1,057*x^2$	0,703
Teor foliar de S, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 6,60$	
Teor foliar de B, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 42,79$	
Teor foliar de Cu, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 9,59$	
Teor foliar de Fe, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 154,834 - 108,561*x$	0,981
Teor foliar de Mn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 127,201 - 47,720*x$	0,989
Teor foliar de Zn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 57,17$	
Teor foliar de Si, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 3,527 + 1,789**x$	0,995
Rosa - Red White Terrazza		
Teor foliar de N, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 32,28$	
Teor foliar de P, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 2,88$	
Teor foliar de K, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 28,625 - 26,367 x + 19,333*x^2$	0,978
Teor foliar de Ca, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 13,34$	
Teor foliar de Mg, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 2,719 - 0,366 x + 0,688**x^2$	0,680
Teor foliar de S, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 7,00$	
Teor foliar de B, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 46,76$	
Teor foliar de Cu, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 9,83$	
Teor foliar de Fe, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 150,833 - 76,427*x$	0,982
Teor foliar de Mn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 110,181 - 43,701*x$	0,972
Teor foliar de Zn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 58,92$	
Teor foliar de Si, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 3,507 + 2,761**x$	0,993
Girassol cv. Sunbright		
Teor foliar de N, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 38,30$	
Teor foliar de P, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 4,90$	
Teor foliar de K, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 40,23$	
Teor foliar de Ca, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 23,40$	
Teor foliar de Mg, g kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 7,95$	
Teor foliar de S, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 13,191 + 5,347 x - 5,029**x^2$	0,775
Teor foliar de B, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 127,00$	
Teor foliar de Cu, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 5,878 + 4,136 x - 3,522*x^2$	0,655
Teor foliar de Fe, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = \bar{y} = 125,82$	
Teor foliar de Mn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 145,570 + 19,186 x - 21,246**x^2$	0,851
Teor foliar de Zn, mg kg ⁻¹	$\hat{y} = 55,721 + 13,441 x - 13,749*x^2$	0,776
Teor foliar de Si, g kg ⁻¹	$\hat{y} = 6,648 + 15,746*x - 8,741*x - 7,006**x^2$	0,945

*, ** = significativo a 5,0 e 1,0 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 10. Equações do conteúdo foliar de nitrogênio, fósforo, cálcio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco e silício em folhas de duas cultivares de roseira e uma de girassol ornamental, produzidos em vaso, em função da aplicação de doses de silício no substrato.

	Equação	R ²
Rosa - Yellow Terrazza		
Conteúdo foliar de N, mg/planta	$\hat{y} = 23,149 + 11,059 x - 10,761*x^2$	0,542
Conteúdo foliar de P, mg/planta	$\hat{y} = 1,698 + 1,593*x - 1,244*x^2$	0,993
Conteúdo foliar de K, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 16,86$	
Conteúdo foliar de Ca, mg/planta	$\hat{y} = 10,619 + 6,471 x - 5,778*x^2$	0,917
Conteúdo foliar de Mg, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 2,00$	
Conteúdo foliar de S, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 5,20$	
Conteúdo foliar de B, µg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 33,65$	
Conteúdo foliar de Cu, µg/planta	$\hat{y} = 7,004 + 5,126 x - 5,229*x^2$	0,761
Conteúdo foliar de Fe, µg/planta	$\hat{y} = 100,184 + 4,243 x - 71,834*x^2$	0,984
Conteúdo foliar de Mn, µg/planta	$\hat{y} = 91,958 + 21,733 x - 55,961*x^2$	0,949
Conteúdo foliar de Zn, µg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 45,18$	
Conteúdo foliar de Si, mg/planta	$\hat{y} = 2,493 + 4,508 *x - 2,333**x^2$	0,986
Rosa - Red White Terrazza		
Conteúdo foliar de N, mg/planta	$\hat{y} = 16,261 + 0,0281x - 0,00003*x^2$	0,728
Conteúdo foliar de P, mg/planta	$\hat{y} = 1,507 + 0,0021x - 0,000002*x^2$	0,687
Conteúdo foliar de K, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 13,34$	
Conteúdo foliar de Ca, mg/planta	$\hat{y} = 6,573 + 12,563 x - 12,031**x^2$	0,750
Conteúdo foliar de Mg, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 1,74$	
Conteúdo foliar de S, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 4,40$	
Conteúdo foliar de B, µg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 29,20$	
Conteúdo foliar de Cu, µg/planta	$\hat{y} = 5,008 + 7,996 x - 7,599*x^2$	0,791
Conteúdo foliar de Fe, µg/planta	$\hat{y} = 67,486 + 100,13 x - 132,421**x^2$	0,870
Conteúdo foliar de Mn, µg/planta	$\hat{y} = 57,889 + 38,542 x - 60,031*x^2$	0,769
Conteúdo foliar de Zn, µg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 36,76$	
Conteúdo foliar de Si, mg/planta	$\hat{y} = 1,838 + 4,263*x - 2,913**x^2$	0,844
Girassol cv. Sunbright		
Conteúdo foliar de N, mg/planta	$\hat{y} = 240,81 + 119,641 x - 114,701*x^2$	0,574
Conteúdo foliar de P, mg/planta	$\hat{y} = 30,383 + 18,103^0x - 17,463*x^2$	0,818
Conteúdo foliar de K, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 270,53$	
Conteúdo foliar de Ca, mg/planta	$\hat{y} = 138,374 + 91,242*x - 71,783**x^2$	0,593
Conteúdo foliar de Mg, mg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 53,42$	
Conteúdo foliar de S, mg/planta	$\hat{y} = 80,042 + 85,308 x - 75,761*x^2$	0,684
Conteúdo foliar de B, µg/planta	$\hat{y} = \bar{y} = 852,83$	
Conteúdo foliar de Cu, µg/planta	$\hat{y} = 35,611 + 50,653 x - 43,269**x^2$	0,607
Conteúdo foliar de Fe, µg/planta	$\hat{y} = 789,476 + 391,971^0x - 375,680**x^2$	0,606
Conteúdo foliar de Mn, µg/planta	$\hat{y} = 938,163 + 379,881^0x - 359,911**x^2$	0,504
Conteúdo foliar de Zn, µg/planta	$\hat{y} = 339,573 + 281,770 x - 253,831*x^2$	0,715
Conteúdo foliar de Si, mg/planta	$\hat{y} = 39,605 + 140,471 x - 78,549**x^2$	0,972

⁰, *, ** = significativo a 10,0; 5,0 e 1,0 %, respectivamente, pelo teste F.

No caso, como o produto final são as flores, o cálculo da dose a ser recomendada foi baseado na sua produção de matéria seca. Para as cultivares de roseira, YT e RWT e para o girassol, a dose para se obter 90 % produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram 0,423; 0,220 e 0,235 g kg⁻¹, respectivamente. Apesar de requerer uma maior dose de Si, a cultivar YT é mais eficiente na utilização do mesmo em comparação à RWT. A eficiência média na utilização do Si foi de 0,96 mg de massa seca de flores produzida para cada mg de Si adicionada, enquanto para RWT foi de 0,49.

Quadro 11. Equações da produção de matéria seca de flores em função da dose de silício aplicada no substrato e dose recomendada de silício para duas cultivares de roseira e uma de girassol ornamental.

Espécie	Equação	R ²	Dose		
			$\hat{y}_{\text{máx}}$	0,9 $\hat{y}_{\text{máx}}$	Recomendada [▲]
			--- g/planta ---		---- g kg ⁻¹ ----
YT	$\hat{y} = 0,928 + 1,511 x - 0,878x^2$	0,878	1,578	1,420	0,423
RWT	$\hat{y} = 0,830 + 1,131 x - 1,029x^2$	0,853	1,141	1,027	0,220
Girassol	$\hat{y} = 8,676 + 8,371 x - 6,341x^2$	0,906	11,439	10,295	0,235

[▲] = Dose recomendada = dose para obter 90 % da produção obtida com a dose de máxima produção física.
*, ** = significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

O aumento na produção de matéria seca de flores por planta, obtida até a dose de 0,86 g kg⁻¹ de Si para YT, 0,55 g kg⁻¹ para RWT e 0,66 g kg⁻¹ para girassol, pode ser associado aos efeitos benéficos que esse elemento exerce na redução da transpiração, maior taxa de fotossíntese e eficiência no uso da água por algumas espécies (Epstein, 1999). Possivelmente, maior quantidade de fotoassimilados se converteram em matéria seca acumulada. Esses resultados confirmam os de Agarie et al. (1998) e Carvalho et al. (2008), que verificaram que o arroz fertilizado com Si é mais eficiente na utilização da água, por ter reduzida a sua transpiração.

O decréscimo na produção a partir destas doses deve ser estudado mais profundamente. Como verificado pela avaliação do estado nutricional das plantas, não houve redução acentuada na absorção de nenhum dos nutrientes, apenas os de Mn. No

entanto, os teores foliares de Mn foram considerados adequados para a cultura da rosa. Na cultura do girassol os teores de Mn foram considerados abaixo da faixa de suficiência, em todas as doses de Si. No entanto, não existem faixas de referência de teores de macro e micronutrientes para roseiras e girassol cultivados em vasos. Deve-se investigar também o efeito das altas doses de Si em processos fisiológicos e bioquímicos que impliquem em redução da produção da planta. A redução na transpiração, por exemplo, pode ter sido excessiva.

CONCLUSÕES

Para as cultivares estudadas, a aplicação de Si no substrato aumenta a produção e melhora a qualidade de roseira e girassol ornamental produzidos em vasos em casa de vegetação, havendo variação nos resultados de acordo com a dose aplicada.

As doses de Si para se obter 90 % da produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram de 0,423; 0,220 e 0,235 g kg⁻¹ para as roseiras Yellow Terrazza, Red White Terrazza e para o girassol, respectivamente.

Efeitos negativos do Si foram observados à partir das doses de 0,86; 0,55 e 0,66 g kg⁻¹ de Si para as roseiras Yellow Terrazza, Red White Terrazza e para o girassol, respectivamente.

Os teores foliares de Si aumentam em resposta ao aumento da dose de Si aplicada no substrato.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão das bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa e pelo auxílio financeiro concedido ao projeto.

LITERATURA CITADA

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W. & KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.*, 1:96-103, 1998.
- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.615-646.
- ANGHINONI, I.; VOLKART, C.R.; FATTORE, N. & ERNANI, P.R. Morfologia de raízes e cinética da absorção de nutrientes em diversas espécies e genótipos de plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:355-361, 1989.
- BLAMEY, F.P.C.; ZOLLINGER, R.K. & SEITER, A.A. Sunflower production and culture. In: SEITEER, A.A., ed. *Sunflower technology and production*. Madilson, American Society of Agronomy, 1997. p.595-670.
- BIRCHALL, J.D. The essentiality of silicon in biology. *Chem. Soc. Rev.*, 24:351-357, 1995.
- BORGES, E.A.; LOSS, A.; SILVA, E.E.; SOUZA, S.R. & FERNANDES, M.S. Cinética de absorção de amônio e efluxo de prótons em variedades de milho. *Semina: Ci. Agrárias*, 30:513-526, 2009.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC, Secretaria de Comércio Exterior - SECEX, *Análise das Informações de Comércio Exterior via Internet - ALICE-Web (2009)*. Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em 16/11/2009.

- BUDAG, P. R. & SILVA, T. P. Cadeias produtivas do estado de Santa Catarina: flores e plantas ornamentais. Florianópolis: EPAGRI, 2000. 51 p. (Boletim Técnico, n. 106).
- CARVALHO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; ÁVILA, V.T. & ALVAREZ V., V.H. Características fisiológicas de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com fontes de silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 59., Natal, 2008. Anais. Natal, Sociedade Brasileira de Botânica, 2008. CD-ROM.
- CARVALHO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; GROSSI, J.A.S. & BARBOSA, J.G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. Cienc. Rural, 39:2394-2399, 2009a.
- CARVALHO, M.P.; GROSSI, J.A.S.; BARBOSA, J.G.B.; VENTRELLA, M.C. & PETERNELLI, L.A. Produção e qualidade de roseiras tratadas com paclobutrazol In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. 2009. Anais. Aracaju, Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009b. CD-ROM.
- CUSHMAN, L.C.; PEMBERTON, H.B. & KELLY, J.W. Cultivar, flower stage, silver thiosulfate and BA interactions affect performance of potted miniature roses. HortSci., 29:805-808, 1994.
- DE KREIJ, C.; VOOGT, W. & BAAS, R. Nutrient solutions and water quality for soilless cultures. The Netherlands, Research Station for Floriculture And Glasshouse Vegetables, 1999.
- DEREN, C.W.; GLAZ, B. & SNYDER, G.H. Leaf tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histosols. J. Plant Nut, 16:2273-2280, 1993.
- EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. & HELMERA, T. Production and quality of greenhouse roses in recirculating nutrient systems. Sci Hort, 106:103-113, 2005.

- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 50:641-664, 1999.
- FAUTEUX, F.; RÉMUS-BOREL, W.; MENZIES, J. & BÉLANGER, R.R. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi. *FEMS Microbiol Lett*, 249:1-6, 2005.
- GILLMAN, J.H.; ZLESAK, D.C. & SMITH, J.A. Applications of potassium silicate decrease black spot infection in *Rosa hybrida* 'Meipelta' (Fuschia Meidiland). *HortSci.*, 38:1144-1147, 2003.
- GUNES, A.; KADIOGLU, Y.K. ; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; COBAN, S. & NAKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms and lipid peroxidation. *Comm. Soil Sci Plant Anal*, 39:1885-1903, 2008.
- GUTERMAN, I. Rose scent - genomic approaches to discovering novel floral fragrance - related genes. *Plant and Cell*, 14:2325-2338, 2002.
- HWANG, S.J.; JEONG, B.R. & PARK, H.M. Effects of potassium silicate on the growth of miniature rose 'Pinocchio' grown on rockwool and its cut flower quality. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 74: 242-247, 2005.
- IWASAKI, K.; MAIER, P.; FECHT, M. & HORST, W.J. Influence of the apoplastic silicon concentration on the manganese tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *J. Plant. Physiol.*, 159:167-173, 2002.
- KAMENIDOU, S.; CAVINS, J.C. & MAREK, S. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse zinnia production. *Sci. Hort.*, 119:297-301, 2009.

- KAMENIDOU, S.; CAVINS, J.C. & MAREK, S. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. HortSci., 43:236-239, 2008.
- KAMENIDOU, S.; CAVINS, J.C. & MAREK, S. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. Sci. Hort., 123:390-394, 2010.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & NOLA, A. Análise de silício: Solo, planta e fertilizante. Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34p. (Boletim Técnico, 2).
- LIANG, Y.; CHEN, Q.; LIU, Q., ZHANG, W. & DING, R. Exogenous silicon increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Plant Physiol., 160:1157-1164, 2003.
- LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J. & FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 25:2285-97, 1994.
- MA, J.F. & YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. Cell. Mol. Life Sci., 65:3049-3057, 2008.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y & TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. Silicon in agriculture. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.17-39.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. & SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., .V.H., eds. Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p.143-168, 1999.

- MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C. & CORRÊA, J.C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:867-873, 2003.
- NEUMANN, D. & NIEDEN, U.Z. Silicon and heavy metal tolerance of higher plant. *Phytochemistry*, 56:685-692, 2001.
- NOVARO N. Breeders rights and brazilian roses. *FloraCulture International*, 15:32, 2005.
- RANGER, C.M.; SINGH, A.P.; FRANTZ, J.M.; CAÑAS, L.; LOCKE, J.C.; REDING, M.E. & VORSA, N. Influence of silicon on resistance of *Zinnia elegans* to *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 38:129-136, 2009.
- ROGALLA, H. & RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L.. *Plant Cell. Environ.*, 25:549-555, 2002.
- SCHNEITER, A.A. & MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. *Crop Science*, 21:901-903, 1981.
- SCHOELLHORN, R.; EMINO, E. & ALVAREZ, E. Specialty cut flower production guides for Florida: sunflower. Gainesville, Institute of Food and Agricultural Sciences/University of Florida, 2003. 3p.
- VILLAS BÔAS, R.L.; GODOY, L.J.G.; BACKES, C.; LIMA, C.P. & FERNANDES, D.M. Exportação de nutrientes e qualidade de cultivares de rosas em campo e em ambiente protegido. *Hort. Bras.*, 26:515-519, 2008.
- VOOGT, W. & SONNEVELD, C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.115-131.

- WERNER, D.& ROTH, R. Silica metabolism. In: LÄUCHLI, A. & BIELESKI, R.L., eds. Encyclopedia of plant physiology. Berlin: Springer-Verlag, 1983. p.682-694.
- WINSLOW, M.D.; OKADA, K. & CORREA-VÍCTORIA, F. Silicon deficiency and the adaptation of tropical rice genotypes. *Plant and Soil*, 188:239-248, 1997.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; CARVALHO, M.P.; BARBOSA, J.G.; GROSSI, J.A.S. & AVILA, V.T. Teores foliares de silício em variedades de crisântemo. In: FertBio 2008, v.28, Anais. Londrina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. CD-ROM.
- ZANÃO JÚNIOR, L.A.; FONTES, R.L.F. ; NEVES, J.C.L.; KORNDORFER, G.H. & ÁVILA, V.T. Rice grown in nutrient solution with doses of manganese and silicon. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1629-1639, 2010.
- ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q. & YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.*, 167:527-533, 2004.
- ZOBIOLE, L.H.F; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F.A. & OLIVEIRA JUNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:425-433, 2010.

CAPÍTULO II²

Plasticidade anatômica foliar e trocas gasosas de girassol ornamental em função da aplicação de silício no substrato

RESUMO

A utilização de Si no cultivo de algumas plantas ornamentais em vasos em casa de vegetação tem proporcionado aumento na produção e qualidade do produto final, mas possíveis alterações fisiológicas e anatômicas causadas por este elemento precisam ser avaliadas. Objetivou-se com este estudo avaliar as trocas gasosas e a anatomia foliar de girassol ornamental (cv. Sunbright) em resposta à aplicação de doses de Si no substrato. O experimento foi conduzido em casa de vegetação e os tratamentos foram cinco doses de Si: 0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Para o estudo anatômico, amostras da região mediana do limbo (compreendendo a nervura central) do sexto par de folhas a partir do ápice foram coletadas e análises morfométricas realizadas. Os tricomas da epiderme foram analisados usando-se as técnicas de diafanização e microscopia eletrônica de varredura acoplada a raios-X (MEV-EDS). Determinou-se a espessura da lâmina foliar, dos parênquimas paliçádico e lacunoso, do mesófilo e das faces abaxial e adaxial da epiderme. As trocas gasosas (taxa fotossintética líquida, condutância estomática e taxa de transpiração) foram determinadas na folha do quinto nó, no início do florescimento, com o auxílio de um analisador de gás no infravermelho (IRGA). A espessura dos tecidos foliares do girassol não foi influenciada pela aplicação do Si ao substrato. Entretanto, houve redução da taxa de transpiração e aumento da taxa de fotossíntese líquida e da condutância estomática em resposta às doses de Si. O girassol ornamental cv. Sunbright acumula Si nos tricomas foliares.

Termos de Indexação: *Helianthus annuus* L., fotossíntese, micromorfometria.

² Capítulo escrito conforme as normas de submissão para a Revista Brasileira de Ciência do Solo

Anatomical leaf plasticity and gas exchange of potted ornamental sunflower in function of silicon application in drench

SUMMARY

The use of Si in the cultivation of ornamental plants grown in pots in greenhouse has provided increased production and product quality, but possible physiological and anatomical changes caused by this element need to be determined. The objective of this study was to evaluate the gas exchange and leaf anatomy of ornamental sunflower (cv. Sunbright) in response to Si fertilization. The experiment was conducted in a greenhouse and the treatments were five doses of Si: 0; 0.25; 0.50; 0.75 and 1.00 g kg⁻¹, in randomized block design with four replications. The Si source was potassium metasilicate. Samples from the middle region of the blade in the sixth pair of leaves from the top (including midrib) were collected for the anatomical study based on the morphological characteristics. The epidermis trichomes were analyzed using the clearing and scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM-EDS). The thickness of the leaf blade, of the palisade and spongy parenchyma, of the mesophyll, and of the abaxial and adaxial epidermis were measured. The gas exchange parameters, the net photosynthesis, the stomatal conductance and the transpiration rate were measured in the fifth pair of leaves, at the flowering stage, with an infra-red gas analyzer (IRGA). The Analysis of Variance (ANOVA) and regression analysis were performed with the equations adjusted for the variables studied as a function of the Si doses applied. Although the thickness of the leaf tissues of sunflower had not been altered by the dose of Si applied, as the dose of Si was raised it was observed an expressive diminishing in the transpiration rate, whereas the net photosynthesis and the stomatal conductance were increased. The ornamental sunflower cv. Sunbright accumulates Si in its leaf trichomes.

Index Terms: *Helianthus annuus* L., photosynthesis, micromorphometry.

INTRODUÇÃO

O Si é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, superado em quantidade apenas pelo O (Elawad & Green Jr., 1979). Em algumas gramíneas, ele é mais absorvido que os macronutrientes e em outras, mais que P, Mg e S. Não é considerado um elemento essencial, pois não há evidências do seu envolvimento em nenhum processo fisiológico (Epstein, 1999). No entanto, o conhecimento ainda é insuficiente para se estabelecer alguma função específica do Si nas plantas. Porém, parece que está envolvido direta ou indiretamente no metabolismo celular, embora o modo de ação ainda não seja claro, principalmente em plantas expostas a estresses (Epstein, 1999; Liang et al., 2003; Zhu et al., 2004).

Nas plantas o Si é absorvido na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sua forma dominante na solução do solo a um pH inferior a 9 (Jones & Handreck, 1967). Posteriormente, é translocado imediatamente para as folhas. Com perda de água devido à transpiração, o ácido é gradualmente concentrado e polimerizado, primeiro sob forma coloidal e finalmente sob forma de sílica gel, amorfa ou biogênica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e torna-se imóvel (Ma et al., 2001). Tecidos mais velhos, portanto, contêm quantidades maiores desse elemento (Ma & Yamaji, 2008). Esta sílica pode ser depositada intra ou extracelularmente, principalmente nas células epidérmicas. Depositada intracelularmente, pode preencher quase toda a célula. Extracelularmente é depositada sob a cutícula. A associação cutícula juntamente com a camada de Si é geralmente denominada de dupla camada cutícula-sílica (Epstein, 1999).

O Si proporciona vários efeitos benéficos às plantas cultivadas como redução de estresses bióticos (pragas e doenças) e abióticos (toxidez provocada pelo excesso de metais, salinidade, baixas temperaturas, seca) (Ma, 2004). A maioria dos benefícios proporcionados pelo Si às plantas são atribuídos à sílica amorfa depositada

intracelularmente e à dupla camada cutícula-sílica, conferindo maior rigidez e resistência aos tecidos vegetais (Epstein, 1999; Ma, 2004; Ma & Yamaji, 2008). Nas gramíneas, como o arroz, além de ser depositado extracelularmente, o Si é depositado internamente em células silicosas ou corpos silicosos, células buliformes, estômatos e nos feixes vasculares (Currie & Perry, 2007). Esta localização da deposição parece depender da espécie ou família botânica. Frantz et al. (2008) avaliando catorze espécies ornamentais verificou que a localização da sílica varia com a espécie, sendo mais acumulada nos tricomas foliares e margens da lâmina foliar.

Estas modificações anatômicas proporcionadas pelo Si provocam alterações fisiológicas. Maior resistência ao estresse hídrico foi verificada em girassol (Gunes et al., 2008) e em arroz (Agarie et al., 1998). Plantas fertilizadas com Si são mais eficientes na utilização da água, por ter reduzida a sua transpiração e incrementada sua taxa fotossintética. No caso do arroz, a maior resistência ao déficit hídrico é atribuída à dupla camada de sílica nas folhas, o que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos e a transpiração cuticular, limitando a perda de água e fazendo com que a exigência de água pelas plantas seja menor (Takahashi, 1995). A localização do Si na folha e se existem alterações na micromorfometria foliar e conseqüentemente nas trocas gasosas foliares de plantas em função da aplicação de doses de Si no substrato é o objetivo deste trabalho, utilizando como planta teste o girassol ornamental.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, no período de outubro a dezembro de 2008. As temperaturas médias mínimas e máximas diárias foram de 17,3 e 33,9 °C, respectivamente, e umidade relativa do ar com variações médias diárias, diurnas e noturnas, de 65,6 e 85,5 %, respectivamente.

Foram avaliadas cinco doses de Si (0; 0,25; 0,50; 0,75 e 1,00 g kg⁻¹) em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A unidade experimental consistiu de um vaso plástico (10 cm de altura e 800 cm³ de volume), contendo 600 g de substrato comercial Plantmax[®], com uma planta cada. As mudas de girassol foram obtidas a partir de sementes da cultivar Sunbright (Sakata Seeds Sudamérica Ltda.). Após 6 d de emergência, as plântulas com cerca de 8 cm de altura e uma folha definitiva totalmente expandida foram transplantadas para os vasos.

Aos 15 d após o transplântio (DAT) realizou-se a primeira aplicação das doses, que estenderam-se por cinco semanas. Em cada semana foi aplicado o equivalente a 20 % da respectiva dose total. Como fonte de Si utilizou-se o metassilicato de potássio (K₂SiO₃), com 120 g kg⁻¹ de Si e 150 g kg⁻¹ de K₂O. As plantas que não receberam a aplicação do K₂SiO₃ e as que receberam doses menores de Si receberam o KCl para fornecer K, balanceando o elemento entre os tratamentos. O K₂SiO₃ é um produto líquido de reação alcalina (pH > 10), assim, o pH da solução foi ajustado para 6,0 com adição de HCl 2 mol L⁻¹.

A irrigação foi realizada diariamente alternando-se aplicação de água com aplicação de solução nutritiva. Durante a condução do experimento, foram aplicados, em mg kg⁻¹: 200 N; 350 P; 150 Ca; 100 Mg; 80 S; 1,2 B; 0,5 Cu; 2 Fe; 1,5 Mn; 0,1 Mo; 1 Zn.

Aplicou-se o retardante de crescimento paclobutrazol (PBZ). A aplicação foi semanal, via substrato e cada vaso recebeu o total de 6,5 mg de PBZ durante a condução do experimento.

Quando os girassóis apresentaram o capítulo com mais de 50 % das flores abertas, correspondendo ao estágio R5.5 da escala de Schneiter & Miller (1981), foram

avaliadas as trocas gasosas e coletadas amostras das folhas para estudo anatômico. Nessa fase também foram eliminadas as brotações laterais.

As trocas gasosas foram determinadas no 5º par de folhas a partir do ápice. Determinou-se a taxa fotossintética líquida, a taxa de transpiração e a condutância, com o auxílio de um analisador de gás no infravermelho (IRGA), portátil, modelo LC Pro+, com câmara foliar do tipo Parkinson (Analytical Development Company, Hoddesdon, UK) e fluxo de ar de 200 mL min⁻¹. Ao IRGA foi acoplada uma fonte artificial de luz para incidir sobre a superfície da folha irradiância de 1044 µmol m⁻² s⁻¹ de fótons. Foram tomadas cinco medições para cada unidade experimental. As avaliações foram realizadas em dia com ausência de nebulosidade.

Para o estudo anatômico foram coletadas amostras de 9,0 cm² da região mediana da lâmina da 6ª folha, à partir do ápice, em cada vaso. Amostras da região mediana da lâmina foliar foram fixadas em FAA₅₀ por 48 h e estocadas em etanol 70 cL L⁻¹ (Johansen, 1940), para posterior inclusão em metacrilato (Historesina - Leica), de acordo com as recomendações do fabricante. O material embocado foi cortado transversalmente em micrótomo de avanço automático com 5 µm de espessura, e corado com azul de toluidina pH 4,0 (O'Brien et al., 1964), por 5 min, para a coloração metacromática dos tecidos. As lâminas foram montadas sob lamínula com resina sintética (Permount - SP15-500, Fisher Scientific, New Jersey, EUA). Para observação dos tricomas foliares utilizou-se a técnica de diafanização (Foster, 1949).

As lâminas foram observadas em microscópio de luz (modelo AX70 TRF, Olympus Optical) com sistema U-PHOTO, acoplado à câmera fotográfica digital (modelo Spot Insightcolour 3.2.0, Diagnostic Instruments Inc.) e microcomputador com o programa de captura de imagens Spot Basic, do Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia Vegetal da UFV.

Os dados foram obtidos com o auxílio do software Image Pro-Plus 4.5, alimentado pelas imagens digitalizadas. As variáveis avaliadas foram espessura da lâmina foliar, do mesofilo, dos parênquimas paliádico e lacunoso e das faces abaxial e adaxial da epiderme foliar.

Para microscopia eletrônica de varredura (MEV), as amostras foram fixadas em FAA₅₀ e desidratadas em série etílica. A secagem ao ponto crítico foi realizada com CO₂ líquido em equipamento apropriado (modelo CPD 020, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein). Após cobertura com ouro em metalizador (modelo FDU010, Bal-Tec, Balzers, Liechtenstein), as superfícies adaxial e abaxial da folha foram avaliadas utilizando microscópio eletrônico de varredura com câmera digital acoplada do Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Das mesmas folhas utilizadas para a observação em MEV, foram preparadas amostras para a espectroscopia de energia dispersiva (EDS) no Laboratório de Microscopia e Microanálise da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Cortaram-se os dez fragmentos, sendo a metade deles montada em suportes de Al com a face superior voltada para cima e, a outra metade montada com a face inferior voltada para cima. Estes espécimes foram levados para dessecador contendo sílica gel, onde permaneceram por 24 h. Em seguida, levados ao aparelho “sputtering” (MED 010, Balzer) e cobertos com uma fina camada de C para serem observados em MEV-EDS (Phillips FEI - Quanta 200 SEM) com distância de trabalho 12 mm e operado a 25 kV.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Foram ajustadas equações de regressão para as variáveis avaliadas em função de doses de Si, sendo os coeficientes testados até 10 % de probabilidade pelo teste F. Os modelos testados para as variáveis em estudo foram: linear, raiz quadrático, quadrático e cúbico. Os modelos foram

escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, no significado biológico e no coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As folhas das plantas de girassol apresentam anatomia típica da família Asteraceae, como descrito por Metcalfe & Chalk (1957) (Figura 1a). Entre as faces adaxial e abaxial da epiderme encontra-se o mesofilo foliar, dorsiventral, composto do parênquima paliçádico, em contato com a face adaxial e do lacunoso, sob a abaxial. Existem 2-3 camadas de parênquima paliçádico, onde está a maior parte dos cloroplastos e de 5-7 camadas de parênquima lacunoso. Os feixes vasculares são colaterais, dispersos irregularmente devido à venação reticulada. Os feixes maiores e mais velhos são encontrados no centro. Os feixes vasculares de médio porte apresentam calotas esclerenquimáticas.

A epiderme apresenta uma única camada de células, com paredes delgadas de contorno poligonal na face adaxial e sinuoso na abaxial. A folha é anfiestomática e verificou-se maior quantidade de estômatos na face adaxial. O estômato é do tipo anomocítico (Figuras 1a e 3).

As folhas possuem numerosos tricomas em ambas as faces. Os três principais tipos encontrados são tectores simples dos tipos: curto, uni ou multicelular; longo multicelular e o do tipo espiralado multicelular (Figura 1b). Os longos multicelulares apresentam-se em maior densidade ao longo das nervuras, principalmente na face abaxial da folha e nas bordas da lâmina foliar, podendo ser vistos a olho nu (Figura 1c).

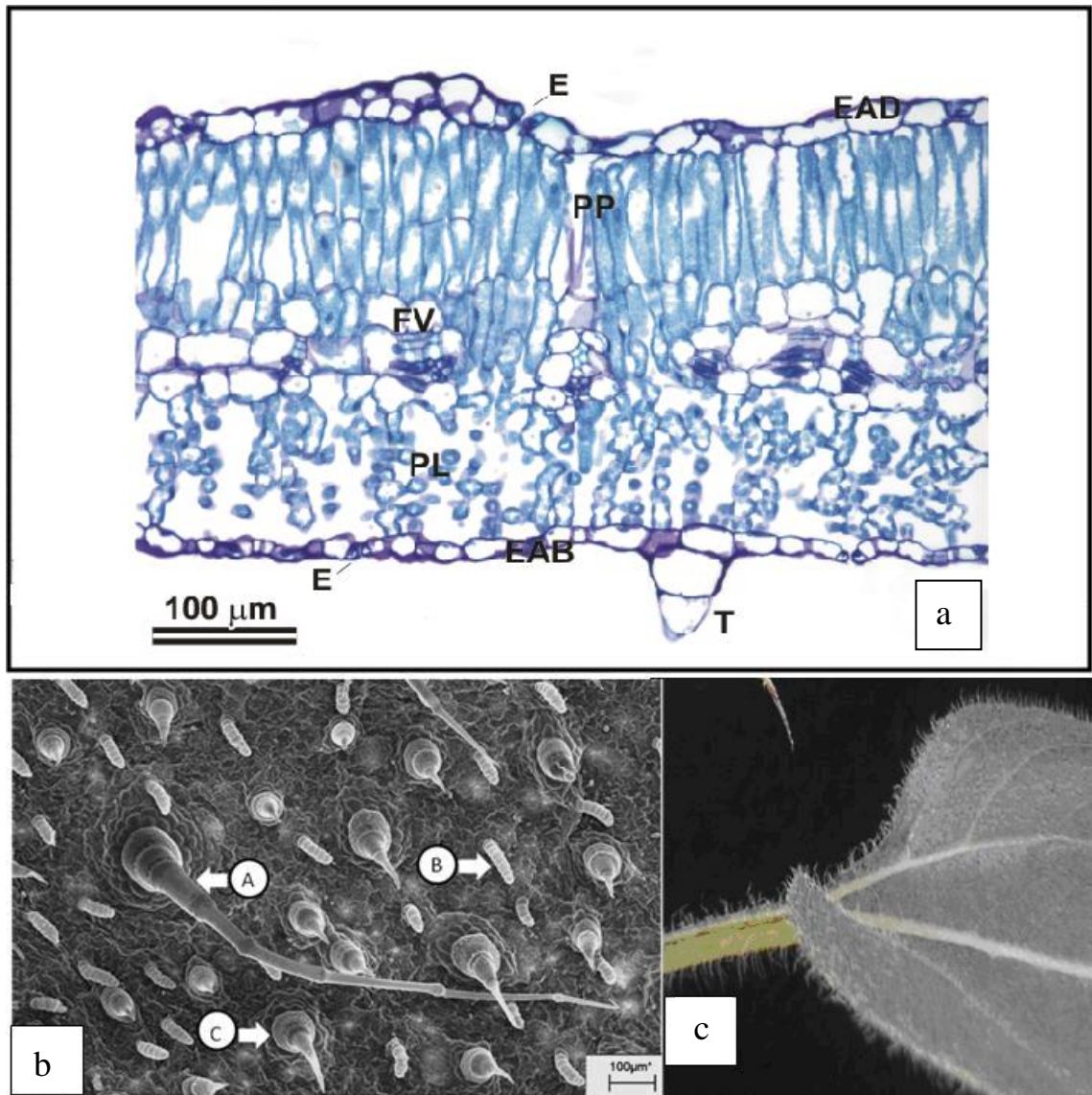


Figura 1. (a) Seção transversal da lâmina foliar de girassol ornamental (cv. Sunbright). EAD, epiderme da face adaxial; EAB, epiderme da face abaxial; E, estômato; FV, feixe vascular; PL, parênquima lacunoso, PP, parênquima paliçádico e T, tricoma. Barra = 100 µm. (b) Micrografia eletrônica de varredura da superfície adaxial da folha de girassol mostrando diferentes tipos de tricoma: A = tector simples longo multicelular, B = tector simples espiralado multicelular e C = tector simples curto multicelular. (c) Folha de girassol evidenciando tricomas do tipo tector simples longo multicelular ao longo do pecíolo, nervuras e bordas da lâmina foliar.

Nas plantas que receberam Si no substrato a análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS) revelou que há acúmulo de Si em todos os três tipos de tricomas, em

ambas as faces da epiderme, em maior intensidade no classificado como curto multicelular, seguido do espiralado multicelular e em menor intensidade no longo multicelular. Além dos tricomas, as demais células da epiderme também mostraram acúmulo de Si, porém em menor intensidade, em ambas as faces. Nas plantas que não receberam Si no substrato, não foi verificado acúmulo de Si pelo EDS em nenhum tipo de tricoma ou nas demais células da epiderme (Figura 2). Lanning & Eleuterius (1989) verificaram acúmulo de Si em tricomas foliares de três espécies do gênero *Helianthus*, sendo maior na espécie *Helianthus tuberosus*. Frantz et al. (2008) avaliando catorze espécies dicotiledôneas ornamentais verificou que a localização do acúmulo de Si varia com a espécie, sendo mais acumulado nos tricomas e margens da lâmina foliar. Hajiboland et al. (2008), constataram que o girassol possui alta capacidade de acumular Mn nas folhas e tolerar excessos deste micronutriente e encontrou função para os tricomas nesta característica. Eles verificaram que sob altas doses de Mn os curtos multicelulares apresentaram-se totalmente com sintomas de oxidação, os longos, apresentaram sinais de oxidação apenas na célula basal ou na célula apical. Nos tricomas do tipo espiralado não se verificou nenhum sintoma. Os sintomas apresentam-se como escurecimento das células, resultante do acúmulo de óxido de Mn. Parece que os tricomas foliares do girassol apresentam função de acúmulo de elementos químicos, que podem auxiliá-lo a tolerar estresses ambientais.

Com a diafanização das folhas foi possível verificar que os tricomas apresentaram coloração semelhante às células de sílica ou corpos silicosos em folhas de arroz fertilizado com Si, como verificado por Zanão Júnior et al. (2010). Esta técnica pode ser utilizada para se contar a densidade de tricomas nas folhas do girassol (Figura 3).

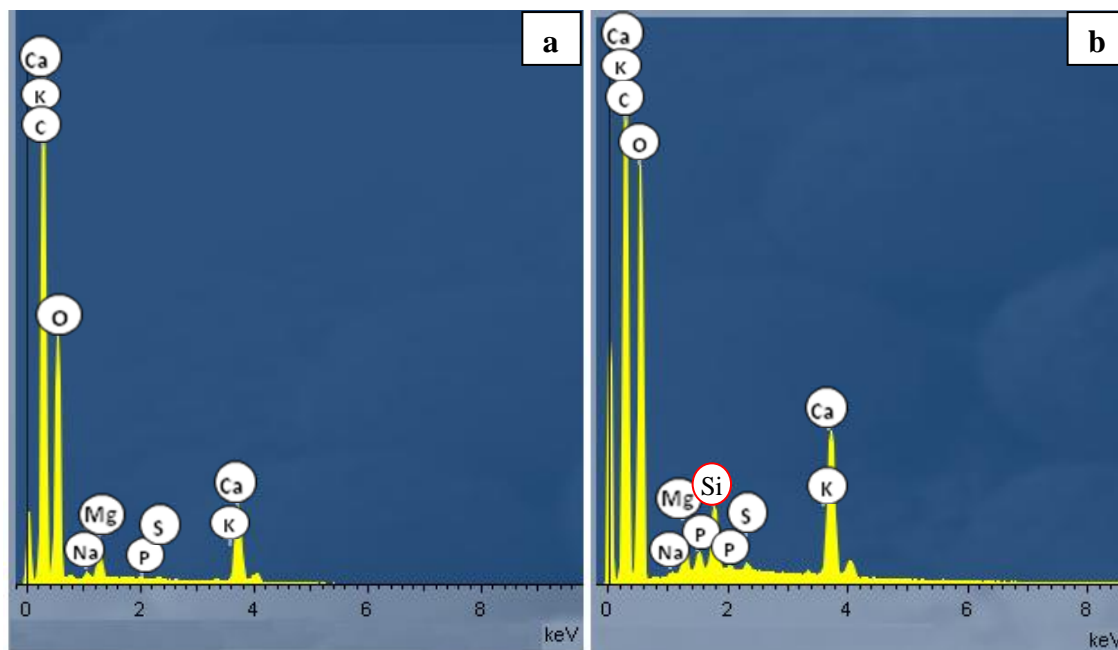


Figura 2. Análise de raios-X do tricoma foliar, classificado como tector curto multi-celular, de girassol ornamental (cv. Sunbright). Escala do gráfico: Total na vertical 60 cps. (a) Planta cultivada sem adição de Si ao substrato e (b) planta que recebeu $0,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Si no substrato.

Houve redução da taxa de transpiração e aumento na taxa de fotossíntese líquida com o aumento das doses de Si aplicadas no substrato, ajustando-se ao modelo quadrático (Quadro 2). Takahashi (1995) também verificou que o Si reduziu a transpiração foliar na cultura do arroz. Van Der Vorn (1980), avaliou a taxa de transpiração em função de doses de Si ($0,75$; 30 e 162 mg L^{-1} de Si) em cinco espécies incluindo arroz, trigo e soja. Ele verificou que a quantidade absorvida de Si determina a magnitude da resposta. No caso do arroz, que acumula maior quantidade de Si, a taxa de transpiração diminuiu significativamente com a aplicação de Si e a soja, que absorve menor quantidade, não alterou sua taxa de transpiração com o aumento da dose de Si.

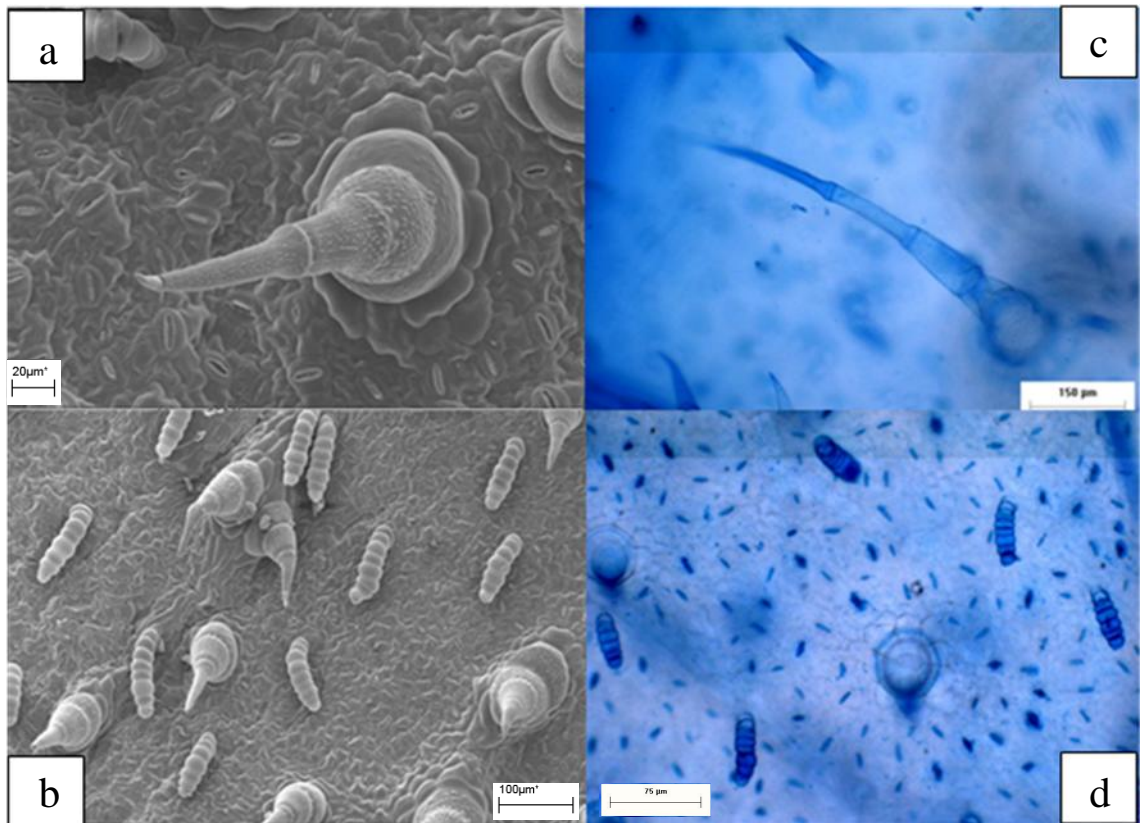


Figura 3. Micrografia eletrônica de varredura da superfície foliar adaxial com detalhes dos diferentes tipos de tricoma (a e b). Detalhe dos tricomas após a diafanização da folha (c e d).

Em plantas submetidas a estresse salino e estresse hídrico também se tem observado redução na taxa de transpiração com a aplicação de Si, como forma de reduzir os efeitos negativos dos mesmos (Hattori et al., 2005; Gao et al, 2004; Ma et al, 2004). Hossain et al. (2002), afirmam que a redução na taxa de transpiração na cultura do arroz pela aplicação de Si, é atribuída principalmente à redução da transpiração pelos poros estomáticos, assim como Agarie et al. (1992). Segundo Savant et al. (1999) em folhas de cana-de-açúcar, com altos teores de Si, esse elemento preenche os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento de água através da parede celular, causando diminuição da taxa de transpiração e aumento da economia de água na planta. A transpiração ocorre por duas formas, a primeira, através dos estômatos e secundariamente através da cutícula (Kerbaui, 2004). No caso do girassol não se pode

ainda definir qual mecanismo de redução da transpiração e aumento da taxa de fotossíntese e condutância estomática, sendo necessários mais estudos.

Quadro 1. Espessura da epiderme, parênquima, mesofilo e lâmina de folhas de girassol em função de doses de Si aplicadas no substrato.

Dose de Si	Espessura					
	LF	EAD	MES	PP	PL	EAB
g kg ⁻¹	----- μm -----					
0	696	45	622	387	236	36
0,25	742	50	657	414	236	38
0,50	607	35	548	358	191	29
0,75	640	35	571	361	217	30
1,00	525	31	465	301	163	26
$\hat{y} = \bar{y}$	642	40	573	364	209	32
CV %	22,07	21,06	23,22	18,72	31,58	16,16

LF = Lâmina foliar; EAD = epiderme da face adaxial; MES = mesofilo; PP = parênquima paliçádico; PL = parênquima lacunoso e EAB = epiderme da face abaxial.

Quadro 2. Equações da taxa de fotossíntese líquida (*A*), taxa de transpiração (*E*) e condutância estomática (*g_s*) de folhas de girassol ornamental em função da aplicação de doses de Si (g kg⁻¹) no substrato.

Variável	Equação	R ²
<i>A</i> , μmol m ⁻² s ⁻¹	$\hat{y} = 28,076 + 13,611 x - 9,625 * x^2$	0,954
<i>E</i> , mmol m ⁻² s ⁻¹	$\hat{y} = 8,646 + 0,192 x - 1,031 * x^2$	0,953
<i>g_s</i> , mmol m ⁻² s ⁻¹	$\hat{y} = 1,712 + 0,289 x - 0,179^0 x^2$	0,422

⁰, * = significativo a 10 e 5 %, respectivamente, pelo teste F.

Aumento na fotossíntese de plantas supridas com Si também foram verificadas por vários autores (Agarie et al., 1992; Hattori et al., 2005; Carvalho et al., 2008). Com maior acúmulo de Si, plantas de sorgo submetidas a estresse hídrico absorveram mais água e mantiveram uma elevada condutância estomática e fotossíntese, que por sua vez, aumentaram a taxa de crescimento relativo (produção de matéria seca por unidade de peso seco) e a eficiência do uso da água (EUA) (Hattori et al., 2005).

A aplicação de Si reduziu a taxa de transpiração e aumentou a condutância estomática, assim como verificado em folhas de sorgo sob estresse hídrico (Hattori et al., 2005). A condutância estomática aumentou até a dose intermediária de Si, com

posterior queda, ajustando-se ao modelo quadrático. Gao et al, (2004) e Ma et al, (2004) afirmam que não existem dados para indicar se o Si influencia resposta estomática nestas culturas que absorvem menos Si, se é um processo físico, como no arroz ou através de outros processos desconhecidos. Agarie et al. (1998) e Ueno & Agarie (2005) afirmam que pelo bloqueio da transpiração o Si influencia a condutância estomática fisicamente, por impedir a perda de água ao redor de estômatos, modificando as propriedades físicas das paredes das células-guarda. No entanto, o mecanismo varia com a espécie. O Si depositado nas folhas do sorgo, por exemplo, não influenciou fisicamente o movimento dos estômatos, uma vez que não foram observadas diferenças na resposta estomática à luz entre as plantas supridas e as não supridas com Si sob diferentes intensidades de luz e estresse hídrico (Hatori et al., 2007). Além disso, a taxa de transpiração cuticular (medido em taxa de transpiração escuro) foi independente da aplicação de Si, indicando que o acúmulo desse elemento nas folhas de sorgo não contribui fisicamente para manter o status hídrico na folha, em contraste com arroz (Matoh et al., 1986). Segundo Hatori et al., (2007), a aplicação de Si reduz a taxa de transpiração. Como resultado, ocorre maior consumo de CO₂, resultando em maior condutância estomática.

CONCLUSÕES

A adição de Si ao substrato não resulta em mudança na espessura dos tecidos foliares do girassol.

A adição de Si ao substrato resulta em diminuição da taxa de transpiração, aumento da taxa de fotossíntese líquida e aumento da condutância estomática em função da dose aplicada.

O girassol ornamental cv. Sunbright acumula Si nos tricomas foliares.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão das bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa e pelo auxílio financeiro concedido ao projeto.

LITERATURA CITADA

- AGARIE, S.; AGATA, W.; KUBOTA, F. & KAUFMAN, P.B. Physiological roles of silicon in photosynthesis and dry matter production in rice plants. *Jpn. J. Crop Sci.*, 60:200-206, 1992.
- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W. & KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.*, 1:96-103, 1998.
- BURROWS, G.E.; BOAG, T.S. & STEWART, W.P. Changes in leaf, stem, and root anatomy of *Chrysanthemum* cv. Lillian Hoek following paclobutrazol application. *J. Plant Growth Regul.*, 11:189-194, 1992.
- CARVALHO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; ÁVILA, V.T. & ALVAREZ V., V.H. Características fisiológicas de plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva com fontes de silício. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 59., Natal, 2008. Anais. Natal, Sociedade Brasileira de Botânica, 2008. CD-ROM.
- CUNHA, K.P.V & NASCIMENTO, C.W.A. Silicon effects on metal tolerance and structural changes in maize (*Zea mays* L.) grown on a cadmium and zinc enriched soil. *Water Air Soil. Pollut.*, 197:323-330, 2008.
- CURRIE, H.A. & PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. *Ann. Bot.*, 100:1383-1389, 2007.

- ELAWAD, S. H. & GREEN JR., V. E. Silicon and the rice plant environment: A review of 12 recent research. *Revista Il Riso*, 28:235-253, 1979.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 50:641-664, 1999.
- FOSTER, A.S *Practical Plant Anatomy*. Princeton, D. Van Nostrand. Co. Inc.. 1949. 228p.
- FRANTZ, J. M.; LOCKE, J.C.; DATNOFF, L.; OMER, M.; WIDRIG, A.; STURTZ, D.; HORST, L. & KRAUSE, C.R. Detection, distribution, and quantification of silicon in floricultural crops utilizing three distinct analytical methods. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 39: 2734-2751, 2008.
- GAO, X.P.; ZOU, C.Q.; WANG, L.J. & ZHANG, F.Z. Silicon improves water use efficiency in maize plants. *J. Plant Nutr.*, 27:1457-1470, 2004.
- GOPI, R.; JALEEL, C.A. & PANNEERSELVAM, R. Leaf anatomical responses of *Amorphophallus campanulatus* to triazoles fungicides. *EurAsia. J. Biosci.*, 2:46-52, 2008.
- GUNES, A.; KADIOGLU, Y.K.; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; COBAN, S. & NAKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 39:1885-1903, 2008.
- HAJIBOLAND, R.; ALIASGHARPOUR, M.; DASHTBANI, F.; MOVAFEGHI, A. & DADPOUR, M.R. Localization and study of histochemical effects of excess Mn in sunflower (*Helianthus annuus* L. cv. Azarghol) plants. *J. Sci. Islam. Repub. Iran*, 19:305-315, 2008.

- HATTORI, T., INANAGA, S., ARAKI, H., AN, P., MORITA, S., LUXOVA, M. & LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. *Physiol. Plant*, 123:459-466, 2005.
- HATTORI, T.; SONOBE, K.; INANAGA, S.; AN, P.; TSUJI, W.; ARAKI, H.; ENEJI, E.A. & MORITA, S. Short term stomatal responses to light intensity changes and osmotic stress in sorghum seedlings raised with and without silicon. *Environ. Exp. Bot.*, 60:177-182, 2007.
- HOSSAIN, M.T.; MORI, R.; SOGA, K.; WAKABAYASHI, K.; KAMISAKA, S.; FUJII, S.; YAMAMOTO, R. & HOSON, T. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. *J. Plant Res.*, 115: 23-27, 2002.
- JALEEL, C.A.; GOPI, R.; AZOOZ, M.M. & PANNEERSELVAM, R. Leaf anatomical modifications in *Catharanthus roseus* as affected by plant growth promoters and retardants. *Global Journal of Molecular Sciences*, 4:1-5, 2009.
- JOHANSEN, D.A. *Plant microtechnique*. New York: McGraw Hill Book, 1940. 523p.
- JONES, L.H.P. & HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. *Adv. Agron.*, 19:107-149, 1967.
- KERBAUY, G.B. *Plant Physiology*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 2004, 452 p.
- LANNING, F.C. & ELEUTERIUS, L.N. Silica depositions in some C3 and C4 species of grasses, sedges and composites in the USA. *Ann. Bot.*, 63:395-410, 1989.
- LIANG, Y.C.; CHEN, Q.; LIU, Q.; ZHANG, W.H. & DING, R.X. Exogenous silicon (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Plant Physiol.*, 160:1157-1164, 2003.
- MA, C.C.; LI, Q.F.; GAO, Y.B. & XIN, T.R. Effects of silicon application on drought resistance of cucumber plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50:623-632, 2004.

- MA, J.F. & YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Mol. Life Sci.*, 65:3049-3057, 2008.
- MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 50:11-18, 2004.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y & TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDORFER, G.H., eds. *Silicon in agriculture*. The Netherlands, Elsevier Science, 2001. p.17-39.
- MATOH, T.; KAIRUSMEE, P. & TAKAHASHI, E. Salt-induced damage to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Sci Plant Nutr*, 32:295-304, 1986.
- METCALFE, C.R & CHALK, L. *Anatomy of the dicotyledons: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses*. Oxford: Clarendon Press. v.1, 1957. p.539-553.
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N. & McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue. *Protoplasma*, 59:367-373, 1964.
- SAVANT, N.K., KORNDORFER, G.H., DATNOFF, L.E. & SNYDER, G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. *J. Plant Nutr.*, 22:1853-1903, 1999.
- SCHNEITER, A.A. & MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.*, 21:901-903, 1981.
- TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUM, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHASE, K. & HIRATA, H., eds. *Silicon of rice plants*. Tokyo, Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. p.420-433.
- UENO, O & AGARIE, S. Silica deposition in cell walls of the stomatal apparatus of rice leaves. *Plant Prod. Sci.*, 8:71-73, 2005.
- VAN DER VORM, P.D.J. Uptake of Si by five plant species, as influenced by variations in Si-supply. *Plant Soil*. 56:153-156, 1980.

ZANÃO JÚNIOR, L.A. Resistência do arroz à mancha-parda mediada por silício e manganês. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2007. 124p. (Dissertação de Mestrado).

ZANÃO JÚNIOR, L.A.Z.; DIAS-PEREIRA, J.; FONTES, R.L.F.; AZEVEDO, A.A. & SILVA, L.C. Densidade de corpos silicosos em folhas de arroz em função de doses de silício e manganês. In: FERTBIO 2010. Anais. Guarapari, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. CD-ROM.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q. & YU, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Plant Sci.*, 167:527-533, 2004.

CONCLUSÃO GERAL

1. Para as cultivares estudadas, a aplicação de Si no substrato aumenta a produção e melhora a qualidade de roseira e girassol ornamental produzidos em vasos em casa de vegetação, havendo variação nos resultados de acordo com a dose aplicada.

2. As doses de Si para se obter 90 % da produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram de 0,423 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza[®], 0,220 g kg⁻¹ para Red White Terrazza[®] e 0,235 g kg⁻¹ para o girassol.

3. Efeitos negativos do Si foram observados à partir das doses de 0,86 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza[®], 0,55 g kg⁻¹ para Red White Terrazza[®] e 0,66 g kg⁻¹ para o girassol.

4. Os teores foliares de Si aumentam em resposta ao aumento da dose de Si aplicada no substrato.

5. A adição de Si ao substrato não resulta em mudança na espessura dos tecidos foliares do girassol.

6. A adição de Si ao substrato resulta em diminuição da taxa de transpiração, aumento da taxa de fotossíntese líquida e aumento da condutância estomática em função da dose aplicada.

7. O girassol ornamental cv. Sunbright acumula Si nos tricomas foliares.