

DIVISÃO 3 - USO E MANEJO DO SOLO

Comissão 3.1 - Fertilidade do solo e nutrição de plantas

PRODUÇÃO DE ROSAS INFLUENCIADA PELA APLICAÇÃO DE DOSES DE SILÍCIO NO SUBSTRATO⁽¹⁾

Luiz Antônio Zano Júnior⁽²⁾, Victor Hugo Alvarez V.⁽³⁾, Maristela Pereira Carvalho-Zano⁽⁴⁾, Renildes Lúcio Ferreira Fontes⁽³⁾ & José Antônio Saraiva Grossi⁽⁵⁾

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 dois cultivares de roseira cultivados em vasos influenciados pela aplicação de doses de Si no substrato. Os tratamentos foram gerados pelo fatorial 2 x 5, composto por dois 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), e dispostos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados altura, ciclo, produção, diâmetro, longevidade floral, teores e conteúdos foliares de Si, macro e micronutrientes da planta. Foi feita a análise de variância dos dados, ajustando-se equações de regressão para o efeito das doses de Si. A aplicação de Si no substrato melhorou a produção e qualidade das rosas produzidas em vasos em casa de vegetação, porém a resposta das plantas variou com as doses de Si. As doses de Si para se obterem 90 % da produção máxima de matéria seca de flores foram de 0,43 e 0,22 g kg⁻¹ para Yellow Terrazza[®] e Red White Terrazza[®], respectivamente. Já os efeitos negativos do elemento foram observados a partir das doses de 0,86 e 0,55 g kg⁻¹ de Si para Yellow Terrazza[®] e Red White Terrazza[®], respectivamente. Os teores foliares de Si aumentaram em função da dose de Si aplicada no substrato.

Termos de indexação: rosa híbrida, floricultura, silicato de potássio.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 16 de agosto de 2012 e aprovado em 24 de julho de 2013.

⁽²⁾ Pesquisador, Instituto Agronômico do Paraná. Caixa Postal 02. CEP 85825-000 Santa Tereza do Oeste (PR). Bolsista Fundação Araucária. E-mail: lzanao@iapar.br

⁽³⁾ Professor, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - DPS/UFV. Av. P. H. Rolfs, s/n. CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: vhav@ufv.br, renildes@ufv.br

⁽⁴⁾ Agente de Ciência e Tecnologia, IAPAR. E-mail: carvalhozanao@iapar.br

⁽⁵⁾ Professor, Departamento de Fitotecnia - UFV. E-mail: jgrossi@ufv.br

SUMMARY: ROSE PRODUCTION AFFECTED BY SILICON RATES APPLIED TO SUBSTRATE

The use of Si in the cultivation of pot-grown ornamental species in greenhouse has increased the output and quality of the final product. The objective of this study was to evaluate yield and nutrient uptake of two rose cultivars grown in pots under Si application to the substrate. The treatments, arranged in a 2 x 5 factorial design, consisted of two rose cultivars (Yellow Terrazza® and Red White Terrazza®) and five Si doses (0.0; 0.25; 0.50; 0.75 e 1.00 g kg⁻¹), and evaluated in a randomized block design with four replications. The plant height, cycle, yield, diameter, floral longevity, concentration and amounts foliar Si, macro- and micronutrients were evaluated. Analysis of variance was performed adjusting regression equations for the effect of Si doses. Silicon applied to the substrate improved the output and quality of the roses grown in pots in greenhouse, although the plant response varied with the Si rates. To obtain 90 % of the maximum production of flowers dry matter the Si rates were of 0.43 and 0.22 g kg⁻¹ for the Yellow Terrazza® and Red White Terrazza®, respectively. Negative effects of the element were however observed at rates of 0.86 and 0.55 g kg⁻¹ Si and upwards for Yellow Terrazza® and Red White Terrazza®, respectively. The foliar Si contents increased according to the Si rate applied to the substrate.

Index terms: hybrid rose, floriculture, potassium silicate.

INTRODUÇÃO

A participação do Brasil no mercado mundial de flores e plantas ornamentais ainda é pequena, mas cresceu anualmente, do final da década de 1990 até o ano de 2008. Nesse período, houve um crescimento de 25 milhões de dólares em exportações desses produtos (Brasil, 2009). No entanto, houve declínio nesses valores de 2008 a 2012, na ordem de 27 %, refletindo o contexto econômico-financeiro recessivo, que prevaleceu nos principais mercados importadores (Junqueira & Peetz, 2013).

Historicamente, a cultura da roseira (*Rosa* sp.) tem importância econômica de destaque nesse mercado. O comércio mundial dessa espécie movimentou valores da ordem de 10 bilhões de dólares anualmente (Guterman, 2002). O Brasil é um grande produtor de rosas. Atende tanto o mercado interno quanto o externo, com grande potencial de crescimento na produção (Novaro, 2005). Assim como outros produtos da floricultura, o balanço entre importações e exportações das rosas é condicionado ao cenário da economia mundial. No ano de 2012, por exemplo, por causa da crise econômica internacional, houve aumento na importação brasileira de rosas de corte. O aumento chegou a representar quase 16 % da pauta global de importações de produtos da floricultura, com crescimento de 6,29 % sobre a importação desse produto em relação ao ano anterior. Enquanto isso, as exportações da rosa apresentaram queda de pouco mais de 54 % (Junqueira & Peetz, 2013).

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 dele. 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, pois esse elemento aumenta a tolerância das plantas aos efeitos de estresses bióticos e abióticos aos quais essas estão sujeitas. Dentre os abióticos, estão o déficit hídrico, as baixas temperaturas, as geadas, a salinidade e a 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 (Ma & Yamaji, 2008). Na maioria dos casos, porém, é incerto se a maior produtividade decorre de efeito nutricional ou se é em razão da amenização dos estresses, proporcionada pelo Si (Epstein & Bloom, 2005).

A maioria desses 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 efeito do Si ainda parece ser insuficiente para que se estabeleça alguma função direta desse elemento nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas.

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

Espécies ornamentais como gérbera, cravo, áster,

poinsetia, violeta, zínnia, girassol e crisântemo acumulam Si em seus tecidos, em quantidades razoáveis (Voogt & Sonneveld, 2001; Carvalho et al., 2009a; Carvalho-Zanão et al., 2012). Foram verificados efeitos benéficos desse elemento em muitas dessas 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 e na solução nutritiva de sistemas hidropônicos usados para produção de plantas ornamentais, o que indica possibilidade de resposta positiva à sua aplicação, normalmente ele não é utilizado nesse sistema produtivo. O efeito do Si na nutrição de espécies ornamentais de interesse econômico e o da aplicação de doses desse elemento na produção dessas espécies devem ser objeto de estudos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta de dois cultivares de roseira de vaso, em razão da aplicação de doses de Si no substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido 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.

Os tratamentos foram gerados pelo fatorial 2×5, sendo dois cultivares de roseira: Yellow Terrazza® (YT) e Red White Terrazza® (RWT) e cinco doses de Si: 0; 0,25; 0,50; 0,75; e 1,00 g kg⁻¹, 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 0,8 dm³ de volume), contendo 0,6 kg de substrato comercial Plantmax®. Após a aclimação das mudas, procedeu-se à poda, deixando duas folhas completas por haste.

Como fonte de Si, utilizou-se o metasilicato de potássio (K₂SiO₃), com 120 g kg⁻¹ de Si e 520 g kg⁻¹ de K. As plantas que não receberam a aplicação do K₂SiO₃ e as que receberam doses menores que 1,00 g kg⁻¹ 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. Após 10 dias da poda das mudas, iniciou-se a aplicação das doses de Si. Em cada semana foi aplicado o equivalente a 20 % da respectiva dose total.

A irrigação foi realizada diariamente, alternando-se aplicação de água com a de solução nutritiva.

Durante a condução do experimento, foram aplicados, em mg kg⁻¹: 200 N; 150 P; 150 Ca; 80 Mg; 100 S; 1,2 B; 0,5 Cu; 2,0 Fe; 1,5 Mn; 0,1 Mo; e 1,0 Zn. As fontes utilizadas no preparo da solução nutritiva foram o NH₄H₂PO₄, NH₄NO₃, Ca(NO₃)₂·4H₂O, MgSO₄·7H₂O, Fe-EDTA, CuSO₄·5H₂O, ZnSO₄·7H₂O, H₃BO₃, Na₂MoO₄·2H₂O e MnCl₂·4H₂O.

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, encerramento da vida de vaso (mais de uma pétala murcha e, ou, com escurecimento).

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 e número de flores por planta foram avaliados no estágio 5. O ciclo foi determinado pelo número de dias entre a poda e o estágio 2; e a longevidade floral, pelo número de dias entre o estágio 2 e o estágio 6 de abertura floral.

Após as avaliações, para obtenção da produção de matéria seca da parte aérea (g/planta), cada parte da planta (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 Willey, com peneira de malha 0,84 mm. A matéria seca foi mineralizada pela mistura nítrico-perclórica (3:1 v/v), determinando-se os teores de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; os de K, por fotometria de emissão de chama; os de S, por turbidimetria; 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. Determinaram-se os teores de B pelo método colorimétrico da Azometina H, após a incineração das amostras, e os de Si 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 % pelo teste F. Os modelos testados para as variáveis em estudo foram: linear, raiz quadrático, quadrático e cúbico, e 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 obterem 90 % da produção obtida com a dose de máxima produção física ($\hat{y}_{Máx}$) (Alvarez V., 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivar Yellow Terrazza apresentou maior produção de matéria seca da parte aérea e de folhas, assim como maior altura da haste e do 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 Os dois cultivares de roseira (Quadro 1). Resultados semelhantes foram observados por Carvalho et al. (2009b), estudando aplicação de retardantes de crescimento em plantas desses dois cultivares. Em média, as roseiras floresceram aos 42,32 dias, produzindo 2,33 flores por planta, com produção de matéria seca de flores de 1,06 g e longevidade de 11,51 dias.

Comparando-se os dois 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, Cu e Zn (Quadro 1). A variação dos coeficientes 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 e S (g kg^{-1}) foram 31,18; 2,56; 21,30; 14,29; 2,54; e 6,60 para Yellow Terrazza, e 32,28; 2,88; 21,43; 13,32; 2,79 e 7,00, 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). Os teores foliares médios de Si foram de 4,89 e $4,60 \text{ g kg}^{-1}$ para Yellow Terrazza e Red White Terrazza, respectivamente.

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

A ordem sequencial de acúmulo de macronutrientes e Si nas folhas (mg/planta) dos dois cultivares foi a mesma: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Si} > \text{P} > \text{Mg}$. No caso dos micronutrientes, essa ordem sequencial ($\mu\text{g/planta}$) foi diferente entre os cultivares, com $\text{Mn} (81,84) > \text{Fe} (75,36) > \text{Zn} (45,18) > \text{B} (33,73) > \text{Cu} (7,61)$, para Yellow Terrazza, e $\text{Fe} (67,90) > \text{Mn} (54,65) > \text{Zn} (36,76) > \text{B} (29,23) > \text{Cu} (6,16)$, para Red White Terrazza. Villas Bôas et al. (2008), avaliando a extração de nutrientes por 12 cultivares de roseira em ambiente protegido, também verificaram que a maioria deles apresentou essa mesma ordem de

conteúdo de macronutrientes. Quanto ao conteúdo de micronutrientes, a ordem de extração dos 12 cultivares avaliados se assemelhou ao do Yellow Terrazza.

Os cultivares de roseira diferiram quanto ao teor e conteúdo de Si (Quadro 1), com Yellow Terrazza apresentando maior teor ($4,89 \text{ g kg}^{-1}$) e conteúdo ($3,87$

Quadro 1. Produção média, para doses de Si, de matéria seca da parte aérea, folhas, flores, altura, ciclo, flores por planta, diâmetro e longevidade floral, e teores e conteúdos foliares de macronutrientes, micronutrientes e silício (n = 20), em dois cultivares de roseira

Avaliação	Yellow Terrazza	Red White Terrazza	CV
			%
			Produção
Parte aérea (g/planta)	4,40 a	3,35 b	13,83
Folha (g/planta)	0,79 a	0,61 b	14,48
Flor (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
Flor por planta	2,18 a	2,47 a	14,24
Diâmetro floral (cm)	7,46 a	6,57 b	4,41
Longevidade floral (d)	11,07 a	11,95 a	13,80
			Teor foliar
N (g kg^{-1})	31,18 a	32,28 a	4,77
P (g kg^{-1})	2,56 b	2,88 a	7,14
K (g kg^{-1})	21,30 a	21,43 a	8,46
Ca (g kg^{-1})	14,29 a	13,32 b	6,91
Mg (g kg^{-1})	2,54 b	2,79 a	5,26
S (g kg^{-1})	6,60 a	7,00 a	5,45
B (mg kg^{-1})	42,79 b	46,76a	9,73
Cu (mg kg^{-1})	9,59 a	9,73 a	15,80
Fe (mg kg^{-1})	95,88 b	108,78 a	14,93
Mn (mg kg^{-1})	103,34 a	88,33 b	4,11
Zn (mg kg^{-1})	57,17 a	58,92 a	6,75
Si (mg kg^{-1})	4,89 a	4,60 b	13,76
			Conteúdo foliar
N (mg/planta)	24,64 a	20,18 b	14,99
P (mg/planta)	2,03 a	1,79 b	15,57
K (mg/planta)	16,80 a	13,34 b	15,39
Ca (mg/planta)	11,69 a	8,34 b	17,83
Mg(mg/planta)	2,00 a	1,74 b	16,07
S (mg/planta)	5,20 a	4,40 b	14,23
B ($\mu\text{g/planta}$)	33,73 a	29,23 b	42,74
Cu ($\mu\text{g/planta}$)	7,61 a	6,16 b	15,01
Fe ($\mu\text{g/planta}$)	75,36 a	67,90 a	17,25
Mn ($\mu\text{g/planta}$)	81,84 a	54,65 b	14,89
Zn ($\mu\text{g/planta}$)	45,18 a	36,76 b	15,96
Si (mg/planta)	3,87 a	2,88 b	20,22

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

mg/planta) de Si no tecido foliar. De forma semelhante, Winslow et al. (1997) encontraram diferenças genótípicas no que se refere à absorção de Si na cultura do arroz. Anteriormente, Deren et al. (1993) observaram resultado semelhante na cultura da cana-de-açúcar e, mais recentemente, Carvalho-Zanão et al. (2012), na cultura do crisântemo. O acúmulo foliar de Si foi maior que o de P e Mg nos dois cultivares.

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 e 10 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 0,55 e 0,85 g kg⁻¹ de Si, o teor foliar de Si nos cultivares Yellow Terrazza e Red White Terrazza, respectivamente (Quadro 2), e razão Si:Ca indicaram que elas podem ser classificadas como intermediárias no acúmulo de Si. Assim, nas menores doses de Si, as plantas foram consideradas não acumuladoras de Si. Quando a dose foi aumentada

(> 0,55 g kg⁻¹ de Si), a classificação foi alterada, passando a intermediárias no acúmulo desse elemento. Portanto, essa classificação precisa ser revista. Recentemente, foram descobertos transportadores de Si em raízes de plantas, como arroz, milho e cevada, conhecidamente acumuladoras de Si (Yamaji et al., 2008; Chiba et al., 2009; Mitani et al., 2009). A presença do transportador indica que a planta absorve Si ativamente (Ma & Yamaji, 2008) e esse poderia ser um dos critérios de classificação. Como alternativa também seria estabelecer doses de Si e Ca padronizadas com as quais as plantas fossem cultivadas e posteriormente proceder-se à classificação, de acordo com os teores de Si e a razão Si:Ca encontrados nos tecidos foliares.

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, da altura das plantas e do diâmetro floral dos dois cultivares de roseira, ajustando-se ao modelo quadrático. Para ciclo da cultura e longevidade floral, não houve efeito das doses de Si aplicadas. Ehret et al. (2005), cultivando dois cultivares de miniroseiras

Quadro 2. Equações de regressão dos teores e do conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Si em folhas de dois cultivares de roseira, produzidos em vaso, em função da aplicação de doses de silício no substrato

	Equação de regressão			
	Yellow Terrazza	R ²	Red White Terrazza	R ²
Teor foliar				
N (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 31,18$		$\hat{y} = \bar{y} = 32,28$	
P (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 2,56$		$\hat{y} = \bar{y} = 2,88$	
K (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 24,84 - 16,943 x + 13,143^* x^2$	0,983	$\hat{y} = 28,625 - 26,367 x + 19,333^* x^2$	0,978
Ca (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 14,29$		$\hat{y} = \bar{y} = 13,34$	
Mg (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = 2,773 - 1,267 x + 1,057^* x^2$	0,703	$\hat{y} = 2,719 - 0,366 x + 0,688^{**} x^2$	0,680
S (g kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 6,60$		$\hat{y} = \bar{y} = 7,00$	
B (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 42,79$		$\hat{y} = \bar{y} = 46,76$	
Cu (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 9,59$		$\hat{y} = \bar{y} = 9,83$	
Fe (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 154,834 - 108,561^* x$	0,981	$\hat{y} = 150,833 - 76,427^* x$	0,982
Mn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 127,201 - 47,720^* x$	0,989	$\hat{y} = 110,181 - 43,701^* x$	0,972
Zn (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = \bar{y} = 57,17$		$\hat{y} = \bar{y} = 58,92$	
Si (mg kg ⁻¹)	$\hat{y} = 3,527 + 1,789^{**} x$	0,995	$\hat{y} = 3,507 + 2,761^{**} x$	0,993
Conteúdo foliar				
N (mg/planta)	$\hat{y} = 23,149 + 11,059 x - 10,761^* x^2$	0,542	$\hat{y} = 16,261 + 0,0281 x - 0,00003^* x^2$	0,728
P (mg/planta)	$\hat{y} = 1,698 + 1,593^* x - 1,244^* x^2$	0,993	$\hat{y} = 1,507 + 0,0021 x - 0,000002^* x^2$	0,687
K (mg/planta)	$\hat{y} = \bar{y} = 16,86$		$\hat{y} = \bar{y} = 13,34$	
Ca (mg/planta)	$\hat{y} = 10,619 + 6,471 x - 5,778^* x^2$	0,917	$\hat{y} = 6,573 + 12,563 x - 12,031^{**} x^2$	0,750
Mg(mg/planta)	$\hat{y} = \bar{y} = 2,00$		$\hat{y} = \bar{y} = 1,74$	
S (mg/planta)	$\hat{y} = \bar{y} = 5,20$		$\hat{y} = \bar{y} = 4,40$	
B (µg/planta)	$\hat{y} = \bar{y} = 33,65$		$\hat{y} = \bar{y} = 29,20$	
Cu (µg/planta)	$\hat{y} = 7,004 + 5,126 x - 5,229^* x^2$	0,761	$\hat{y} = 5,008 + 7,996 x - 7,599^* x^2$	0,791
Fe (µg/planta)	$\hat{y} = 100,184 + 4,243 x - 71,834^* x^2$	0,984	$\hat{y} = 67,486 + 100,13 x - 132,421^{**} x^2$	0,870
Mn (µg/planta)	$\hat{y} = 91,958 + 21,733 x - 55,961^* x^2$	0,949	$\hat{y} = 57,889 + 38,542 x - 60,031^* x^2$	0,769
Zn (µg/planta)	$\hat{y} = \bar{y} = 45,18$		$\hat{y} = \bar{y} = 36,76$	
Si (mg/planta)	$\hat{y} = 2,493 + 4,508^* x - 2,333^{**} x^2$	0,986	$\hat{y} = 1,838 + 4,263^* x - 2,913^{**} x^2$	0,844

em sistema hidropônico, com a dose de 1,7 mmol L⁻¹ de Si, verificaram que esse elemento proporcionou aumento na altura da planta, no diâmetro do caule e na produção de matéria seca da parte aérea, em relação à não adição desse elemento à solução nutritiva. Assim como verificado neste 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, na produção de matéria seca da parte aérea e das raízes e na altura das plantas e, também, que o Si não interferiu no ciclo das roseiras.

O diâmetro floral é uma característica que é levada em conta para classificação comercial de algumas espécies de plantas ornamentais. Neste trabalho, observou-se aumento no diâmetro floral nos cultivares de roseira (Quadro 3). Carvalho et al. (2009a) também verificaram tal fato no girassol e Kamenidou et al. (2009, 2010), em gerbera e zinnia.

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 intermediárias de Si e posterior aumento com as doses, evidenciando o “efeito diluição” (maior crescimento vegetativo em relação à quantidade de nutriente absorvida). A relação entre teores foliares e doses ajustou-se ao modelo quadrático (Quadro 2). Os teores foliares de Fe e Mn apresentaram diminuição linear em função do aumento da dose de Si aplicada, também nos dois cultivares (Quadro 2).

Os conteúdos foliares de K, Mg, S, B e Zn não apresentaram diferença em função da dose de Si aplicada no substrato para os cultivares de roseiras. O conteúdo foliar de N, P, Ca, Cu, Fe e Mn nos dois cultivares de roseira apresentaram aumento até as doses intermediárias de Si e posterior queda nas maiores doses (Quadro 2), 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. Tornou-se importante avaliar o conteúdo e os teores dos nutrientes ao mesmo tempo, pois 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 aplicada do elemento (essencial, benéfico ou tóxico) e seu efeito na planta.

Nos dois cultivares de roseira, houve diminuição do conteúdo foliar de Mn com o aumento da dose de Si. Esses resultados coincidiram com vários relatos na literatura e reafirmaram um dos maiores benefícios do Si, que é a redução da toxidez por teores elevados de Mn (Iwasaki et al., 2002; Rogalla & Römheld, 2002; Zanão Júnior et al., 2010). Esses 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 determinarem as diferentes formas de Si contidas nele, por não terem métodos disponíveis para tal, sendo necessários desenvolvê-los, principalmente, porque há uma diversidade de materiais que compõe os substratos utilizados na produção de plantas ornamentais. Alguns são fonte de Si como a casca de arroz carbonizada. Porém, pelo teor foliar médio de 3,52 g kg⁻¹ de Si nas roseiras 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 em roseiras, 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 se ajustaram ao modelo linear (Quadro 2). 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 3. Equações de regressão da produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), de folhas (PMSF) e de flores (PMSFlor), da altura da planta, do diâmetro e da longevidade floral e ciclo de dois cultivares de roseira produzidas em vaso, em função da aplicação de doses de silício no substrato

	Equação de regressão			
	Yellow Terrazza	R ²	Red White Terrazza	R ²
PMSPA (g/planta)	$\hat{y} = 4,085 + 2,358 x - 2,116^{**} x^2$	0,812	$\hat{y} = 2,928 + 3,585 x - 3,591^{**} x^2$	0,888
PMSF (g/planta)	$\hat{y} = 0,721 + 0,549 x - 0,526^* x^2$	0,804	$\hat{y} = 0,509 + 0,808 x - 0,778^* x^2$	0,745
PMSFlor (g/planta)	$\hat{y} = 0,928 + 1,511 x - 0,878^* x^2$	0,877	$\hat{y} = 0,830 + 1,131 x - 1,029^* x^2$	0,853
Altura da planta (cm)	$\hat{y} = 18,752 + 13,432 x - 10,782^* x^2$	0,963	$\hat{y} = 14,312 + 10,239 x - 10,782^* x^2$	0,715
Diâmetro da flor (cm)	$\hat{y} = 7,599 + 2,368^o x - 3,244^* x^2$	0,924	$\hat{y} = 6,285 + 2,537^o x - 2,106^* x^2$	0,962
Longevidade floral (d)	$\hat{y} = \bar{y} = 11,072$		$\hat{y} = \bar{y} = 12,015$	
Ciclo (d)	$\hat{y} = \bar{y} = 42,964$		$\hat{y} = \bar{y} = 41,674$	

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

Quadro 4. Equações de regressão da produção de matéria seca de flores em função da dose de silício aplicada no substrato e dose recomendada de silício para dois cultivares de roseira

Cultivar	Equação de regressão	R ²	ŷ _{máx}		Dose recomendada ⁽¹⁾
			— g/planta —		
Yellow Terrazza	$\hat{y} = 0,928 + 1,511 x - 0,878* x^2$	0,878	1,578	1,420	0,423
Red White Terrazza	$\hat{y} = 0,830 + 1,131 x - 1,029* x^2$	0,853	1,141	1,027	0,220

⁽¹⁾ Dose recomendada = dose para obter 90 % da produção alcançada com a dose de máxima produção física. *e **: significativos a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

O cálculo da dose de Si a ser recomendada foi com base na produção de matéria seca de flores, pois, no caso, essas são o produto final. As doses para obter 90 % da produção de matéria seca de flores obtida com a dose de máxima produção física foram 0,43 e 0,22 g kg⁻¹, respectivamente, para os cultivares Yellow Terrazza e Red White Terrazza. Apesar de requerer maior dose de Si, o cultivar Yellow Terrazza foi mais eficiente na utilização dele em comparação ao Red White Terrazza. 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 Red White Terrazza, de 0,49 (Quadro 4).

O aumento na produção de matéria seca de flores por planta, obtida até a dose de 0,86 g kg⁻¹ de Si para Yellow Terrazza e 0,55 g kg⁻¹ para Red White Terrazza, 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 confirmaram os de Agarie et al. (1998) e Carvalho et al. (2008), que verificaram que o arroz fertilizado com Si foi mais eficiente na utilização da água, por ter reduzida a sua transpiração. O decréscimo na produção a partir dessas 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 desse micronutriente foram considerados adequados para a cultura da rosa (Martinez et al., 1999). Deve-se investigar 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

1. A aplicação de Si no substrato aumentou a produção e melhorou a qualidade das rosas produzidas em vasos em casa de vegetação, havendo variação nos resultados, de acordo com a dose aplicada, para os cultivares de roseira estudados.

2. As doses de Si para obter 90 % da produção de matéria seca de flores alcançada com a dose de máxima produção física foram de 0,43 e 0,22 g kg⁻¹ para as roseiras Yellow Terrazza e Red White Terrazza, respectivamente.

3. Os efeitos negativos do Si foram observados a partir das doses de 0,86 e 0,55 g kg⁻¹ de Si para as roseiras Yellow Terrazza e Red White Terrazza, respectivamente.

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

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão das bolsas em nível de doutorado e produtividade em pesquisa e pelo auxílio financeiro concedido ao projeto. À Fundação Araucária pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa.

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 Produc. 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, MG: 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.

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. Agron.*, 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://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 16 nov. 2009.

- 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. *Ci. 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, Aracaju, 2009. Anais... Aracaju, Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009b. CD-ROM
- CARVALHO-ZANÃO, M.P.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; BARBOSA, J.G.; GROSSI, J.A.S. & ÁVILA, V.T. Yield and shelf life of chrysanthemum in response to the silicon application. *Hort. Bras.*, 30:403-408, 2012.
- CHIBA, Y.; MITANI, N.; YAMAJI, N. & MA, J.F. HvLsi1 is a silicon influx transporter in barley. *Plant J.*, 57:810-818, 2009.
- CUSHMAN, L.C.; PEMBERTON, H.B. & KELLY, J.W. Cultivar, flower stage, silver thiosulfate and BA interactions affect performance of potted miniature roses. *HortScience*, 29:805-808, 1994.
- DEREN, C.W.; GLAZ, B. & SNYDER, G.H. Leaf tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histosols. *J. Plant Nutr.*, 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. Silicon. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 50:641-664, 1999.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 400p.
- GUTERMAN, I. Rose scent - genomic approaches to discovering novel floral fragrance - related genes. *Plant 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. Japan. Soc. Hortic. 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.
- JUNQUEIRA, A.H. & PEETZ, M. Balanço do comércio exterior da floricultura brasileira. *Hortica News. Contexto & Perspectiva*, 2012. Boletim de Análise Conjuntural, janeiro 2013. Disponível em: <http://www.hortica.com.br/artigos/2012_Balanco_do_Comercio_Exterior_da_Floricultura_Brasileira.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2013.
- 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. *HortScience*, 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, GPS-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.
- 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. Dordrecht, Elsevier Science, 2001. p.17-39.
- MA, J.F. & YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. *Cell. Molec. Life Sci.*, 65:3049-3057, 2008.
- 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, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.143-168.
- MITANI, N.; YAMAJI, N. & MA, J.F. Identification of maize silicon influx transporters. *Plant Cell Physiol.*, 50:5-12, 2009.
- NOVARO, N. Breeders rights and brazilian roses. *Flora Cult. Intern.*, 15:32, 2005.
- ROGALLA, H. & RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. *Plant Cell. Environ.*, 25:549-555, 2002.
- 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. *Hortic. 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. Dordrecht, 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 Soil*, 188:239-248, 1997.
- YAMAJI, N.; MITANI, N. & MA, J.F. A transporter regulating silicon distribution in rice shoot. *Plant Cell*, 20:1381-1389, 2008.

- 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.