

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 06/09/2020.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO E FONTES  
E DOSES DE SILÍCIO NO CULTIVO *in vitro* E NA  
ACLIAMATIZAÇÃO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS**

Cibele Mantovani  
Engenheira Agrônoma

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO E FONTES  
E DOSES DE SILÍCIO NO CULTIVO *in vitro* E NA  
ACLIAMATIZAÇÃO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS**

**Discente: Cibele Mantovani**

**Orientadora: Profa. Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta  
Coorientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

**2020**

M293a Mantovani, Cibele  
Avaliação do ácido salicílico exógeno e fontes e doses de silício no cultivo  
in vitro e na aclimatização de orquídeas epífitas / Cibele Mantovani. --  
Jaboticabal, 2020  
40 p. : fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientadora: Kathia Fernandes Lopes Pivetta  
Coorientadora: Renato de Mello Prado

1. Orchidaceae. 2. Silício. 3. Plantas Nutrição. 4. Propagação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

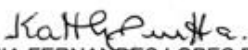
TÍTULO DA TESE: AVALIAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO E FONTES E DOSES DE SILÍCIO NO CULTIVO *in vitro* E NA ACLIMATIZAÇÃO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS


AUTORA: CIBELE MANTOVANI

ORIENTADORA: KATHIA FERNANDES LOPES PIVETTA

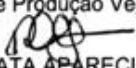
COORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. KATHIA FERNANDES LOPES PIVETTA  
Departamento de Produção Vegetal (Horticultura) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. RICARDO TADEU DE FARIA  
Departamento de Agronomia da UEL / Londrina/PR

  
Prof. Dr. PAULO HERCÍLIO VIEGAS RODRIGUES  
Departamento de Produção Vegetal-ESALQ/USP / Piracicaba/SP

  
Profa. Dra. RENATA APARECIDA DE ANDRADE  
Departamento de Produção Vegetal (Horticultura) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Pesquisador Dr. GILBERTO ROSTIROLLA BATISTA DE SOUZA  
Ginegar Polysack Brasil / São Carlos/SP

Jaboticabal, 06 de março de 2020

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

Cibele Mantovani – nascida em 23 de novembro de 1991, em Itápolis – SP. Mestrado na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/FCAV – Jaboticabal – SP (2017). Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/FCAV – Jaboticabal – SP (2014), trabalhou em projeto de extensão com hortaliças, tem experiência em pesquisa a campo e em laboratório com plantas ornamentais, em especial com orquídeas. Fez parte dos grupos de pesquisa Oficina da Paisagem e GENPLANT. Ministrou vários cursos e palestras sobre o cultivo básico de orquídeas. Desenvolveu a partir de cruzamento artificial híbridos inéditos de orquídeas e registrou na Royal Horticultural Society, RHS, Inglaterra.

## **Epígrafe**

``A natureza com seus caprichos e mistérios,  
condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as grandes,  
nas sutis a potência de dominar as mais grosseiras,  
nas coisas simples a capacidade de reger as complexas``

Ana Maria Primavesi

## **Dedicatória**

Aos meus pais, Clóvis e Roseli, que são meus amores eternos  
A todos os professores da FCAV, que tive a honra de conhecer e que fizeram parte  
do meu ensino.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por todas as bênçãos divinas que tenho recebido em minha vida, e por ter tornado possível esta grande conquista.

Aos meus pais Clóvis Mantovani e Roseli Aparecida Poloto Mantovani pela minha formação pessoal, e pelo amor e carinho oferecidos durante a minha vida toda.

Aos meus avós por toda herança agrônômica e experiências de vida que possibilitaram o delineamento da minha vida profissional.

À professora Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta, pela orientação, pela confiança, pela oportunidade de ser sua aluna e por tudo que fez de bem para a minha evolução acadêmica e espiritual.

Ao professor Dr. Renato de Mello Prado, por ter sido mais que coorientador, um grande amigo, ter me recebido cordialmente e ter ajudado em todos os momentos difíceis que precisei.

Aos professores do Departamento de Tecnologia da FCAV, em especial o Dr. Renato Fernandes Galdiano Júnior e a Dra. Eliana Gertrudes de Macedo Lemos, por todas as oportunidades oferecidas em todo meu curso de graduação e pela eterna amizade e confiança.

À professora Dra. Priscila Lupino Gratão, e aos alunos Ricardo Roberto Borjas Ventura, Carolina Seno Nascimento e Camila Seno Nascimento pela contribuição nas análises referentes ao estresse.

Ao professor Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho e ao Dr. Rafael Ferreira Barreto pelas contribuições na banca do Exame Geral de Qualificação.

À Universidade Estadual de São Paulo – “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - SP e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela oportunidade de realização do doutorado, em especial ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva.

Ao Cnpq pela concessão da bolsa de estudos (Nº do processo: 141292/2017-2).

A todos os componentes do Gepflor, pela convivência, por compartilhar bons momentos e pelas valiosas contribuições concedidas ao longo da realização deste trabalho.

À grande amiga Edilaine Istéfani Franklin Traspadini e ao amigo Jonas Pereira de Souza Júnior pelos constantes auxílios, paciência e amizade.

À professora Cidinha pelo incentivo e amizade.

Às técnicas de laboratório, Cláudia Dela Marta e Sonia Carregari, pela indispensável ajuda nas avaliações dos experimentos e pela amizade.

Aos estagiários da graduação, Eduardo, João, Pedro, Lorena, Taís e Milena, por toda presteza e companheirismo.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Cultivo in vitro de orquídeas.....	2
2.2 Ácido salicílico.....	3
2.3 Silício.....	4
3 REFERÊNCIAS.....	5
CAPÍTULO 2 - Toxicidade de ácido salicílico no cultivo <i>in vitro</i> de <i>Cymbidium atropurpureo</i> e <i>Phalaenopsis</i> ‘Golden Peoker’.....	9
Resumo.....	9
1 Introdução.....	10
2 Material e Métodos.....	10
3 Resultados.....	12
3.1 Efeito do ácido salicílico no vazamento de eletrólitos.....	12
3.2 Efeito do ácido salicílico no crescimento e desenvolvimento.....	13
4 Discussão.....	16
4.1 Vazamento de eletrólitos.....	16
4.2 Crescimento e desenvolvimento.....	17
5 Conclusões.....	17
6 Referências.....	17

<b>CAPÍTULO 3 - Silício pode induzir toxicidade dependendo da fonte e concentração adicionada no cultivo <i>in vitro</i> de orquídeas epífitas .....</b>	<b>19</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>19</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>20</b>
<b>2 Material e Métodos.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 Material vegetal e condições de crescimento .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 Tratamentos e delineamento experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Avaliações biométricas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Teor de clorofila e carotenoides.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Teor de Si .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 Avaliações do estresse oxidativo.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7 Aclimatização.....</b>	<b>24</b>
<b>2.8 Análises estatísticas.....</b>	<b>24</b>
<b>3 Resultados.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Acúmulo de silício .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Clorofila e carotenoides .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Estresse oxidativo .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Crescimento e desenvolvimento das plântulas .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Sobrevivência de plântulas na aclimatização .....</b>	<b>33</b>
<b>4 Discussão .....</b>	<b>34</b>
<b>5 Conclusões.....</b>	<b>37</b>
<b>6 Referências.....</b>	<b>38</b>

## **AVALIAÇÃO DO ÁCIDO SALICÍLICO EXÓGENO E FONTES E DOSES DE SILÍCIO NO CULTIVO *IN VITRO* E NA ACLIMATIZAÇÃO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS**

**RESUMO** - A produção comercial de orquídeas é uma atividade de destaque na floricultura mundial e a cultura de tecidos tem sido a técnica mais utilizada para obtenção de grande quantidade de mudas em curto espaço de tempo. Fontes de silício e o ácido salicílico dependendo da concentração e da espécie cultivada podem induzir a toxicidade, mas não há informações para orquídeas sob cultivo *in vitro*. Como os efeitos da adição de ácido salicílico e fontes de silício na composição do meio de cultivo *in vitro* ainda não são totalmente conhecidos estudou-se, separadamente neste trabalho, o efeito do ácido salicílico exógeno e a adição de silício (Si) *in vitro* e o efeito residual do Si durante a aclimatização. Para isso foram realizados dois experimentos. O experimento 1 consistiu no cultivo *in vitro* das orquídeas *Cymbidium atropurpureo* e *Phalaenopsis* Golden Peoker em meio MS acrescido dos tratamentos com ácido salicílico: 0; 50; 100; 200; 300; 400; 500 e 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de AS durante 210 dias. Já o experimento 2 consistiu no cultivo *in vitro* das orquídeas *Cymbidium atropurpureo* e *Dendrobium secundum*, o meio MS utilizado para propagação das plântulas foi acrescido dos tratamentos constituídos por seis concentrações (0,00; 14,15; 28,30; 42,45 e 56,6 mmol de Si por L) de cada fonte de Si (nanossílica, silicato de potássio com silicato de sódio e ácido monossilícico) e ao término do cultivo *in vitro* as plântulas foram analisadas. Os resultados indicam que a adição de AS reduziu todas as variáveis de crescimento avaliadas e induziu toxicidade. A adição de silício na forma da mistura de silicato de potássio e silicato de sódio promoveu o máximo crescimento de *Dendrobium secundum*. A nanossílica foi a fonte mais promissora para o cultivo *in vitro* de *Cymbidium atropurpureo* e o ácido monossilícico foi a fonte mais tóxica.

**Palavras – chave:** Orchidaceae, silício, plantas nutrição, propagação

## EVALUATION OF EXOGENOUS SALICYLIC ACID AND SILICON SOURCES AND DOSES IN IN VITRO CULTIVATION AND ACCLIMATIZATION OF EPIPHYTE ORCHIDS

**ABSTRACT** - The commercial production of orchids is a prominent activity in world floriculture, and the cultivation of plant tissues has been the most used technique for obtaining large quantities of seedlings in a short time. Sources of silicon and salicylic acid depending on the concentration and species grown can induce toxicity, but there is no information for orchids under *in vitro* cultivation. As the effects of the addition of salicylic acid and silicon sources on the composition of the *in vitro* culture medium are not yet fully understood, the effect of exogenous salicylic acid and the addition of silicon (Si) *in vitro* and the residual effect of Si during acclimatization were separately studied in this work. For this, two experiments were carried out. Experiment 1 consisted of *in vitro* cultivation of *Cymbidium atropurpureo* and *Phalaenopsis* Golden Pecker orchids in MS medium plus treatments with salicylic acid: 0; 50; 100; 200; 300; 400; 500 and 1000  $\mu\text{mol L}^{-1}$  AS for 210 days. In experiment 2 consisted of *in vitro* cultivation of *Cymbidium atropurpureo* and *Dendrobium secundum*, the MS medium used for seedling propagation was added with treatments consisting of six concentrations (0.00; 14.15; 28.30; 42.45 and 56.6 mmol of Si per L) from each source of Si (nanosilica, potassium silicate with sodium silicate and monosilicic acid) and at the end of cultivation the seedlings were analyzed. The results indicate that the addition of AS reduced all the growth variables evaluated and induced toxicity. The addition of silicon in the form of a mixture of potassium silicate and sodium silicate promoted the maximum growth of *Dendrobium secundum*. Nanosilica was the most promising source for the *in vitro* cultivation of *Cymbidium atropurpureo* and monosilicic acid was the most toxic source.

**Keywords:** Orchidaceae, silicon, plant nutrition, propagation

## CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

### 1 INTRODUÇÃO

Em razão da elevada beleza e exuberância de suas flores, as orquídeas destacam-se como importante planta ornamental e medicinal, de grande interesse econômico, ecológico e botânico. Atualmente, seu cultivo é mais que um simples *hobby*, é um negócio internacional que representa cerca de 8% do mercado mundial de plantas ornamentais e tem o potencial de alterar a economia de um país (Chugh et al., 2009). Considerando o setor da floricultura, a orquidicultura evoluiu para uma atividade importante, pois representa uma das atividades mais economicamente significativas na indústria viveirista global (Silva, 2013).

O silício (Si) é considerado elemento benéfico com potencial de promover melhorias no crescimento e desenvolvimento de algumas culturas. Foi verificado que as orquídeas do gênero *Phalaenopsis* absorvem o silício *in vitro* (Zhou, 1995) e que este elemento influencia seu crescimento (Vendrame et al., 2010).

O Si tem função estrutural na parede celular que pode elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina, aumentando a rigidez da célula. A ação benéfica do silício tem sido associada a diversos efeitos indiretos como aumento da eficiência da capacidade fotossintética, redução da transpiração e aumento da resistência mecânica das células (Camargo et al., 2007), entretanto não há informações sobre o efeito das fontes: nanossílica, silicato de potássio com silicato de sódio e ácido monossilícico; adicionadas ao meio de cultura na última fase de cultivo *in vitro*.

O cultivo *in vitro* de orquídeas é eficiente para a conservação e produção comercial de plântulas. No entanto, as plântulas micropropagadas geralmente precisam se adaptar para sobreviver a alterações severas na umidade, irradiância e meio de crescimento que acompanham a transferência para condições *ex vitro* (Lando et al. 2016).

A produção de mudas incluindo as orquídeas é altamente dependente da sobrevivência das plântulas na fase de aclimatização; que pode ser considerada a etapa mais crítica da produção de mudas micropropagadas, pois ocorrem os maiores percentuais de perdas (Chandra et al., 2010; Van Huylendroeck et al., 1998) não só

em função do estresse hídrico, fotossíntese e absorção de nutrientes pela plântula, mas também pelo perigo de infecções por fungos e bactérias, que podem se desenvolver neste estágio (Tombolato e Costa, 1998).

O ácido salicílico (AS) participa da sinalização de estresses e a aplicação exógena pode proporcionar proteção contra estresses bióticos ou abióticos. O efeito da aplicação do AS depende de numerosos fatores tais como a espécie vegetal e seu estágio de desenvolvimento, o modo e a concentração de aplicação, bem como seu nível endógeno na planta (Horváth et al., 2007). Os estudos com AS em plantas ornamentais estão restritos a algumas espécies, mas com fornecimento exclusivamente via pulverização foliar à exemplo da *Stevia rebaudiana* (El-Housini et al., 2014) e violetas (Martin-Mex et al., 2005).

Na literatura, não existem estudos sobre a absorção de silício por *Cymbidium atropurpureo* e *Dendrobium secundum* e nem sobre o ácido salicílico no cultivo *in vitro* de *Cymbidium atropurpureo* e *Phalaenopsis* Golden Peoker. Frente ao exposto, objetivou-se com este trabalho determinar os efeitos do ácido salicílico e do silício.



## 5 Conclusões

O Si no cultivo *in vitro* de orquídeas pode favorecer o crescimento ou provocar toxicidade, dependendo da fonte, concentração do elemento no meio de cultivo e da espécie. A nanossílica foi a fonte mais promissora para cultivo de orquídeas especialmente para *Cymbidium atropurpureo* e na concentração de 21,4 mmol L<sup>-1</sup> de Si. O ácido monossilícico foi a fonte mais tóxica, pois provocou danos fisiológicos em

concentrações maiores do que 14,1 e 11,2 mmol L<sup>-1</sup> de Si para *Cymbidium atropurpureo* e *Dendrobium secundum*, respectivamente.

## 6 Referências

- Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S., Karanov, E. 2001. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell & Environment*, 24, 1337-1344.
- Annenkov, V.V., Danilovtseva, E.N., Pal'shin, V.A., Ol'ga, N.V., Zelinskiy, S.N., Krishnan, U.M., 2017. Silicic acid condensation under the influence of water-soluble polymers: from biology to new materials. *RSC Advances*, 7, 20995-21027.
- Balakhnina, T., Borkowska, A. 2013. Effects of silicon on plant resistance to environmental stresses. *International Agrophysics*, 27, 225-232.
- Barbosa, J.C., Maldonado, JR.W., 2014. *AgroEstat - System for Statistical Analysis of Agronomic Trials - Version 1.1.0.711*. Jaboticabal: Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences, Universidade Estadual Paulista.
- Braga, F. T., Nunes, C. F., Favero, A. C., Pasqual, M., de Carvalho, J. G., de Castro, E. M. 2010. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(2), 128-132.
- Caldas, L.S., Haridasan, P., Ferreira, M.E. 1998. Meios Nutritivos. In: Torres, A.C., Caldas, L.S., Buso, J.A. (Ed.), *Cultura de tecidos e transformação genética de plantas*. Embrapa Cenargen, Brasília, pp. 87-132.
- Costa, M. A. P. C., Pereira, M. J., Rocha, M. A., Hamsen, D.S., Alves, R.M.O., Souza, E.H., Garcia, F.R. 2009. Micropropagação de orquídeas. In: Junghans, T.G., Souza, A.S. *Aspectos práticos da micropropagação de plantas*. Embrapa MFT, Cruz das Almas, pp. 351-370.
- Dias, G. D. M. G., Soares, J. D. R., Ribeiro, S. F., Martins, A. D., Pasqual, M., Alves, E. 2017. Morphological and physiological characteristics *in vitro* anthurium plantlets exposed to silicon. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 17, 18-24.
- Dionisio-Sese, M. L., Tobita, S. 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, Shannon, 135, 1-9.
- Duan, X., Tang, M., Wang, W. 2013. Effects of silicon on physiology and biochemistry of *Dendrobium moniliforme* plantlets under cold stress. *Agric Biotechnol* 2, 18–21.

- Duman, F., Koca, F. D. 2014. Single and combined effects of exposure concentration and duration on biological responses of *Ceratophyllum demersum* L. Exposed to Cr species. *Int. J. Phytoremediation* 16, 1192–1208.
- Gratão, P. L., Monteiro, C. C., Carvalho, R. F., Tezotto, T., Piotto, F. A., Peres, L. E., Azevedo, R. A. 2012. Biochemical dissection of diageotropica and Never ripe tomato mutants to Cd-stressful conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 79-96.
- Haghighi, M., Pessarakli, M. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulturae*, 161, 111-117.
- Heath, R. L., Packer, L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125, 189-198.
- Korndörfer, G.H., Pereira, H. S., Nolla, A. 2004. Silicon analysis: soil, plant and fertilizer. Uberlândia MG. Institute of Agrarian Sciences. Federal University of Uberlândia. Technical Bulletin, 2.
- Kraska, J.E., Breitenbeck, G.A. 2010. Simple, Robust Method for quantifying silicon in plant tissue. *Communication in soil science and plant analysis*, 41, 2075-2085.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods Enzymol.* 148, 350–382.
- Mantovani, C., Prado, R. M., Pivetta, K. F. L. 2018. Silicon foliar application on nutrition and growth of *Phalaenopsis* and *Dendrobium* orchids. *Scientia Horticulturae*, 241, 83-92.
- Martins, A. D., Martins, J. P. R., Batista, L. A., Dias, G. M., Almeida, M. O., Pasqual, M., Santos, H. O. 2018. Morpho-physiological changes in *Billbergia zebrina* due to the use of silicates *in vitro*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 3449-3462.
- Martins, J. P. R., de Almeida Rodrigues, L.C., dos Santos Silva, T., Santos, E.R., Falqueto, A.R., Gontijo, A.B.P.L. 2019. Sources and concentrations of silicon modulate the physiological and anatomical responses of *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) during *in vitro* culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 137, 397-410.
- Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R.D., Govindarajan, R., Kuriakose, S.V., Prasad, M.N.V., 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monniera*. *Plant Physiol. Biochem.* 44, 25–37.
- Murashige, T., Skoog, F. 1962. A revised medium for a rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Pasqual, M., Soares, J. D. R., Rodrigues, F. A., Araujo, A. G., Santos, R. R. 2011. Influência da qualidade de luz e silício no crescimento *in vitro* de orquídeas nativas e híbridadas. *Horticultura Brasileira*, 29, 324-329.

- Qin, G. Z., Tian, S. P. 2005. Enhancement of biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* by silicon and the possible mechanisms involved. *Phytopathology*, 95, 69-75.
- Prado, R. M. 2008. Introdução a nutrição de plantas. In: Prado, R. M. (Ed), Plant nutrition. UNESP, Jaboticabal, p. 7 - 46.
- Ruffini, C.M., Cremonini, R., 2009. Nanoparticles and higher plants. *Caryologia* 62, 161–165.
- Sangster A. G., Hodson, M. J., Tubb, H. J. 2001. Silicon deposition in higher plants. L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H. Korndörfer (Eds.), *Silicon in Agriculture*, Elsevier, Amsterdam, pp. 85–113.
- Sarruge, J. R. 1975. Nutrition solutions. *Summa Phytopathol.* 1, 231–233.
- Sivanesan, I., Park, S. 2014. The role of silicon in plant tissue culture. *Front. Plant Sci.* 5, 571.
- Soares, J. D. R., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., Villa, F., Araujo, A. G. D. 2011. Silicon sources in the micropropagation of the *Cattleya* group orchid. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33, 503-507.
- Soares, J. D. R., Pasqual, M., Araujo, A. G. D., Castro, E. M. D., Pereira, F. J., Braga, F. T. 2012. Leaf anatomy of orchids micropropagated with different silicon concentrations. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34, 413-421.
- Zhou, T., 1995. The detection of the accumulation of silicon in *Phalaenopsis* (Orchidaceae). *Annu. Bot.* 75, 605–607.