

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SÍLCIO FOLIAR E PROPORÇÕES DE NITRATO E
AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE
ORQUÍDEAS EPÍFITAS**

Cibele Mantovani

Engenheira Agrônoma

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SÍLCIO FOLIAR E PROPORÇÕES DE NITRATO E
AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE
ORQUÍDEAS EPÍFITAS**

Cibele Mantovani

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

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

2017

Mantovani, Cibele
M293s Silício foliar e proporções de nitrato e amônio na nutrição e no crescimento de orquídeas epífitas / Cibele Mantovani. -- Jaboticabal, 2017
vi, 48 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Paulo Hercílio Viegas Rodrigues, Renato Fernandes Galdiano Júnior
Bibliografia

1. Orchidaceae. 2. Toxicidade de Si. 3. Estequiometria. 4. Fertilização nitrogenada. 5. Toxidez de amônio. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84:582.594


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SILÍCIO FOLIAR E PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS

AUTORA: CIBELE MANTOVANI

ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO

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



Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



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



Pós-doutorando RENATO FERNANDES GALDIANO JÚNIOR
Departamento de Tecnologia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 14 de fevereiro de 2017

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.

Epígrafe

``Só o bem assegura a sorte futura.
Ora, o bem é sempre o bem,
qualquer que seja o caminho que a ele conduza.``

Livro dos Espíritas

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.

Ao professor Dr. Renato de Mello Prado, por ter sido mais que orientador, um grande amigo, ter me recebido cordialmente e ter aberto todas as portas do conhecimento para minha formação profissional.

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.

Aos professores do Departamento de Produção Vegetal da FCAV, em especial a Dra. Kathia Fernandes Lopes Pivetta, o Dr. Arthur Bernardes Cecícilio Filho e o Dr. Sérgio Valiengo Valeri.

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 Mestrado, em especial ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os componentes do GENPLANT, pela convivência, por compartilhar bons momentos e pelas valiosas contribuições concedidas ao longo da realização deste trabalho. Muito obrigado a grande amiga Edilaine Istéfani Franklin Traspadini pelos constantes auxílios, paciência e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos, em especial a técnica Cláudia Campos Dela Marta, e o secretário Gibson Caetano Padua pela convivência diária e pela presteza.

SUMÁRIO

Lista de figuras e tabelas.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A família Orchidaceae.....	3
2.2 Nutrição e adubação de orquídeas.....	5
2.3 Nutrição silicatada.....	6
2.4 Nutrição nitrogenada.....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Experimento 1: Aplicação foliar de fontes e concentrações de silício em orquídeas epífitas.....	10
3.2 Experimento 2: Proporções de amônio e nitrato na nutrição e no crescimento de orquídeas epífitas.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1 Experimento 1: Aplicação foliar de fontes e concentrações de silício em orquídeas epífitas.....	15
4.1.1 Acúmulo de nutrientes e de silício.....	15
4.1.2 Teores de lignina e proteína, vazamento de eletrólitos e relação estequiométrica.....	19
4.1.3 Efeito do silício no crescimento e no desenvolvimento.....	22
4.2 Experimento 2: Proporções de amônio e nitrato na nutrição e no crescimento de orquídeas epífitas.....	28
4.2.1 Efeito do amônio na nutrição, índice da cor verde e vazamento de eletrólitos.....	28

4.2.2 Efeito do amônio no crescimento e no desenvolvimento	31
5 CONCLUSÃO	35
6 REFERÊNCIAS.....	36
APÊNDICE.....	48

Lista de figuras e tabelas

	Página
Figura 1. Acúmulo de C, N, P, K, Ca, Mg, S e Si na parte aérea de <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	16
Figura 2. Acúmulo de C, N, P, K, Ca, Mg, S e Si na parte aérea de <i>Dendrobium</i> Valentine em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	18
Figura 3. Teor de lignina (A), teor de proteína (B), relação C/Si (C) e vazamento de eletrólitos (D) em <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	19
Figura 4. Teor de lignina (A), teor de proteína (B), relação C/Si (C) e vazamento de eletrólitos (D) em <i>Dendrobium</i> Valentine em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	20
Figura 5. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), comprimento radicular (C), volume radicular (D), número de folhas (E), área foliar (F), índice da cor verde (G) e matéria seca total (H) de <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	23
Figura 6. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), comprimento radicular (C), volume radicular (D), número de folhas (E), área foliar (F), índice da cor verde (G) e matéria seca total (H) de	

<i>Dendrobium</i> Valentine em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na), após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	25
Figura 7. Acúmulo de N (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) na parte aérea de <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker (<i>Ph</i>) e <i>Dendrobium</i> Valentine (<i>D</i>) em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	29
Figura 8. Eficiência de absorção de N (g/g) (A), eficiência de utilização (g) (B), índice da cor verde (C) e vazamento de eletrólitos das folhas (%) (D) de <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker (<i>Ph</i>) e <i>Dendrobium</i> Valentine (<i>D</i>) em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	31
Figura 9. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C), e matéria seca total (D) de <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	33
Figura 10. Altura da planta (A), diâmetro do pseudobulbo (B), número de pseudobulbos (C), e matéria seca total (D) de <i>Dendrobium</i> Valentine em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.....	34
Tabela 1. Relação C:N:P para <i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker e <i>Dendrobium</i> Valentine submetidas a aplicação das concentrações de ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio e sódio, 18 meses após o início da aplicação de Si.....	22

SÍLCIO FOLIAR E PROPORÇÕES DE NITRATO E AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE ORQUÍDEAS EPÍFITAS

RESUMO - A produção comercial de orquídeas é uma atividade de destaque na floricultura mundial, entretanto há falta de informações sobre a adubação nitrogenada quanto às proporções de nitrato e amônio como fonte de nitrogênio e aplicação de elementos benéficos como o silício. O silício via foliar pode beneficiar e em excesso pode prejudicar o crescimento de orquídeas dependendo da fonte e da concentração do elemento na solução. O crescimento adequado das orquídeas epífitas depende da proporção entre amônio e nitrato utilizada como fonte de nitrogênio, entretanto, não há informações sobre o efeito a longo prazo. Portanto, foram desenvolvidos dois experimentos com duas orquídeas epífitas em cada experimento: *Phalaenopsis* Golden Peoker e *Dendrobium* Valentine. As plantas foram cultivadas em bandejas plásticas com *Sphagnum* seco e mantidas em casa de vegetação recebendo solução nutritiva nos primeiros seis meses, depois foram transplantadas para vasos plásticos (0,9L) individuais e aplicados os tratamentos. O experimento 1 foi em esquema fatorial 5x3, com cinco concentrações de Si (controle; 14,3; 28,6; 42,9 e 57,2 mmol L⁻¹) e três fontes (ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio e sódio) com cinco repetições e em delineamento inteiramente casualizado. Após 18 meses de aplicação de Si foram avaliados nos dois híbridos comerciais o acúmulo de: Si, C, N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea; teor de lignina e proteína e variáveis biométricas. No experimento 2, os tratamentos foram cinco proporções de nitrato/amônio (0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0) com cinco repetições dispostos em delineamento inteiramente casualizado. As fontes de nitrato e amônio foram o nitrato de cálcio e o sulfato de amônio, respectivamente. Após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos, quando as plantas estavam aptas a floração, foram avaliados nas duas espécies o acúmulo de: N, P, K, Ca e Mg na parte aérea e variáveis biométricas. A aplicação de 27 e 16 mmol L⁻¹ de Si (silicato de potássio e ácido monossilícico) beneficiou o crescimento de *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente. A aplicação foliar de Si influenciou a absorção de nutrientes, o índice da cor verde e a estequiometria C:N:P em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*; e o teor de lignina e proteína em *Phalaenopsis*. A proporção de 39% e 49% de amônio na solução nutritiva beneficiou o crescimento de *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente. A aplicação de altas proporções de amônio diminuiu a absorção de nutrientes, o índice da cor verde e aumentou o vazamento de eletrólitos em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*. Proporções de amônio maiores do que 75% durante 18 meses causou toxidez em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*.

Palavras-chave: Orchidaceae, toxicidade de Si, estequiometria, fertilização nitrogenada, toxidez de amônio

FOLIAR SILICON AND NITRATE AND AMMONIA PROPORTIONS ON NUTRITION AND GROWTH OF EPÍFIT ORCHIDS

ABSTRACT - The commercial production of orchids is a prominent activity in the world floriculture, however there is a lack of information regarding the management and recommendation of the fertilization regarding the proportions of nitrate and ammonium as a source of nitrogen and application of beneficial elements such as silicon. Foliar silicon may benefit and in excess may impair the growth of orchids depending on the source and the concentration of the element in the solution. The adequate growth of epiphytic orchids depends on the ratio of ammonium and nitrate used as a source of nitrogen, however, there is no information on the long-term effect. Therefore, two experiments were carried out with two epiphytic orchids in each experiment: *Phalaenopsis* Golden Peoker and *Dendrobium* Valentine. The plants were grown in plastic trays with dry *Sphagnum* and kept in a greenhouse receiving nutrient solution in the first six months, then transplanted to individual plastic vessels (0.9 L) and applied treatments. Experiment 1 was a 5x3 factorial scheme with five concentrations of Si (control: 14.3, 28.6, 42.9 and 57.2 mmol L⁻¹) and three sources (monosilicic acid, potassium silicate and sodium potassium silicate) with five replicates and in a completely randomized design. After 18 months of application of Si, the accumulation of: Si, C, N, P, K, Ca, Mg and S in aerial part was evaluated in the two species; lignin and protein content and biometric variables. In experiment 2, the treatments were five proportions of nitrate / ammonium (0/100, 25/75, 50/50, 75/25, 100/0) with five replicates arranged in a completely randomized design. The sources of nitrate and ammonium were calcium nitrate and ammonium sulfate, respectively. After 12 months of the beginning of the treatments, when the plants were able to flowering, the accumulation of: N, P, K, Ca and Mg in the shoot and biometric variables were evaluated in the two orchid hybrids. The application of 27 and 16 mmol L⁻¹ of Si (potassium silicate and monosilicic acid) benefited the growth of *Phalaenopsis* and *Dendrobium*, respectively. Foliar application of Si influenced nutrient uptake, green color index and C: N: P stoichiometry in *Phalaenopsis* and *Dendrobium*; and the lignin and protein content in *Phalaenopsis*. The proportion of 39% and 49% of ammonium in the nutrient solution benefited the growth of *Phalaenopsis* and *Dendrobium*, respectively. The application of high proportions of ammonium decreased nutrient absorption, green color index and increased leakage of electrolytes in *Phalaenopsis* and *Dendrobium*. Ammonium ratios greater than 75% over 18 months caused toxicity in *Phalaenopsis* and *Dendrobium*.

Key words: Orchidaceae, Si toxicity, stoichiometry, nitrogen fertilization, ammonium toxicity

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de orquídeas 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). A orquidicultura evoluiu para uma atividade importante, pois representa uma das atividades mais economicamente significativas na indústria viveirista global (TEIXEIRA da SILVA, 2013); as orquídeas são comercializadas como plantas de vaso e como flor de corte, apresentando grande durabilidade (LORENZI; SOUZA, 2001).

As espécies de orquídeas apresentam demandas nutricionais específicas, no entanto, a maioria dos produtores utiliza os adubos convencionais disponíveis no mercado, desenvolvidos visando atender às culturas de produção de alimentos (TAKANE; YANAGISAWA; PIVETTA, 2010).

Fica evidente a necessidade de pesquisas para atender as necessidades nutricionais das orquídeas especialmente de silício e de nitrogênio.

O silício é considerado elemento benéfico com potencial de promover melhorias no crescimento e desenvolvimento de algumas culturas. No entanto, o elemento pode diminuir o crescimento das plantas (LUZ et al., 2006) como em orquídeas (*Hadrolaelia*) (SOARES et al., 2008), mas é pouco conhecido em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*.

Foi verificado que as orquídeas do gênero *Phalaenopsis* tem o crescimento alterado pelo fornecimento de silício (ZHOU, 1995; VENDRAME et al., 2010), entretanto não é conhecida a concentração do elemento e fonte adequada para nutrição foliar no cultivo de orquídeas a longo prazo.

A adubação nitrogenada é uma prática imprescindível para o cultivo de orquídeas, mas pouco se sabe quanto às proporções ideais de nitrato e amônio que devem ser fornecidas. Não existe recomendação da proporção ideal de nitrato e amônio durante o ciclo total de produção de orquídeas até a floração, apenas os resultados de experimentos em períodos restritos de crescimento para *Dendrobium* Sonia 'Ear Sakul' (RUAMRUNGSRI et al., 2014) *Phalaenopsis* (WANG, 2008) e *Cymbidium* (PIENAAR; COMBRINK, 2007).

Frente ao exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a resposta de orquídeas epífitas em função da aplicação de silício via foliar em diferentes concentrações e fontes; e determinar a melhor proporção de nitrato e amônio no cultivo de orquídeas epífitas de importância econômica durante a fase de crescimento e desenvolvimento das mudas até a pré floração.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A família Orchidaceae

As orquídeas representam aproximadamente 10% das Angiospermas, formam a segunda maior família de plantas com cerca de 850 gêneros, entre 20.000 a 30.000 espécies e possuem distribuição cosmopolita (DRESSLER, 2005; SOUZA; LORENZI, 2008).

As orquídeas fascinam as pessoas por serem uma das plantas mais exóticas e misteriosas que existem, graças à grande variedade de cores, formas, tamanhos e fragrâncias, destacando-se como importante planta ornamental de grande interesse econômico e botânico (PRIDGEON, 2001). Além disso, é considerada a família de plantas com maior valor comercial (ROBERTS; DIXON, 2008). Adicionalmente, a formação das flores pode levar de 3 a 10 anos dependendo da espécie (FERREIRA; SUZUKI, 2008).

São plantas herbáceas, perenes e monocotiledôneas. Podem ser classificadas como rupícolas, terrícolas ou epífitas de acordo com o meio o qual se desenvolvem (SILVA, 2003; SUTTLEWORTH et al., 1997).

O crescimento das orquídeas pode ser monopodial (ereto) ou simpodial (prostrado) e são constituídas de raiz, caule (bulbo/pseudobulbo), folha, inflorescência, flor e fruto do tipo cápsula (DRESSLER, 1993). As raízes são fasciculadas e compostas por câmbio vascular, córtex e velame, composto por duas a três camadas de células lignificadas, que podem servir como fonte de reserva (água e nutrientes) e proteção (mecânica e reflexão da radiação solar), principalmente para as raízes epífitas, as quais não possuem a proteção física do solo como as espécies terrestres (ARDITTI, 1992; ARDITTI; ERNEST, 1993).

Na natureza, as orquídeas epífitas crescem sobre as árvores, tendo como substratos materiais orgânicos fibrosos depositados no tronco (DEMATTE; DEMATTE, 1996). A umidade necessária vem das chuvas, do orvalho noturno e da umidade do ar.

Todas as flores das orquídeas são zigomórficas (simétrico sobre um único plano) e cada flor tem três sépalas e três pétalas; quando polinizadas, o ovário das flores se desenvolve em um fruto chamado cápsula contendo milhões de sementes sem reserva nutritiva (HEW, YONG; 2004).

As orquídeas do gênero *Phalaenopsis* são naturais da Ásia Tropical, que possui mais de 40 espécies nativas. São orquídeas epífitas, de crescimento monopodial subsistindo numa condição de alta temperatura e umidade (TAKANE; YANAGISAWA, 2007).

A estrutura da planta de *Phalaenopsis* tem internós muito curtos. As folhas naturalmente se inclinam para garantir uma boa drenagem e prevenir doenças causadas por acúmulo de água entre as folhas. Além disso, as folhas suculentas características da *Phalaenopsis* funcionam como alternativa para o armazenamento de água durante longos períodos de seca (ANTHURA, et al., 2005).

Phalaenopsis está entre as culturas hortícolas mais importantes do mundo cultivadas como plantas com flores em vasos e também para a produção de flores de corte. Nos últimos anos, foi a planta com flores em vaso de maior bilheteria nos principais mercados da floricultura do mundo (FLORAHOLLAND, 2015).

As orquídeas do gênero *Phalaenopsis* tem metabolismo CAM (ácido crassuláceas) que apresenta desvantagens relacionadas à produtividade de biomassa e acumula ácidos orgânicos em células à noite (MCWILLIAMS, 1970). A sua saturação fotossintética é de aproximadamente $130-180 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (GUO; LIN; LEE, 2012; LOOTENS; HEURSEL, 1998; OTA; MORIOKA; YAMANOTO, 1991), indicando sua adaptação para pouca luz; ou seja, é uma planta sensível a estresses.

O gênero *Dendrobium* é um dos mais numerosos com mais de 1200 espécies, originadas na Ásia tropical e subtropical e norte da Austrália (WANG et al., 2009).

Os híbridos do gênero *Dendrobium* são também muito populares no mercado de flores de corte de orquídeas, pois apresentam crescimento rápido, facilidade de regeneração de plântulas, produções sucessivas no ano, floração em grande escala e alta durabilidade da floração (YU; YANG; GOH, 2001; KIYUNA, 2004).

É estimado que desde o século XVIII mais de 8000 novos cultivares e híbridos do gênero *Dendrobium* tem sido produzidos para aumentar as opções no mercado de plantas ornamentais (LAVARACK et al., 2006); principalmente na Tailândia que é o

país de referência no cultivo e desenvolvimento de híbridos de *Dendrobium* (CARDOSO, 2012).

Normalmente apresenta flores largas, com labelo pontiagudo, pseudobulbos e folhas verde escuras. Podem ser epífitas ou litófitas, necessitam de umidade, alta luminosidade, temperatura entre 15 e 25°C e boa drenagem ao redor das raízes para um bom desenvolvimento (SCHELPE; STEWART, 1990).

2.2 Nutrição e adubação de orquídeas

A fertilização de orquídeas é fundamental para crescimento e desenvolvimento satisfatórios tanto em orquidários comerciais quanto em coleções (RODRIGUES et al., 2010). Além disso, a qualidade visual das plantas está diretamente relacionada a um balanço adequado de nutrientes (NETO; BOLDRIN; MATTSON, 2015).

As plantas adubadas podem apresentar melhor e mais rápida floração, e aumento da resistência contra pragas e doenças. A aplicação de nutrientes pode trazer excelentes resultados, quando em doses adequadas, ou pode causar a morte da planta, toxicidade e/ou salinização do substrato, quando os nutrientes são fornecidos em excesso (NOVAIS; RODRIGUES, 2004).

Em seus habitats naturais em áreas tropicais ou subtropicais, as orquídeas epífitas crescem em troncos de árvores ou em galhos sob uma carregada cobertura de folhas. As raízes ficam expostas e dependem da chuva e da umidade do ar. Por esta razão, as raízes não ficam diretamente em contato com água contendo alto teor de sais. Desta forma, estas plantas podem ser menos tolerantes ao aumento da salinidade do que muitas espécies de plantas terrestres (MILES, 1982).

As orquídeas levam mais tempo para demonstrar deficiência nutricional e apresentam baixa taxa de absorção de nutrientes pelas raízes em relação a outras plantas cultivadas (NAIK et al., 2009).

Como não existe recomendação exata de adubação para orquídeas, de forma geral, é indicada a fertilização com maiores quantidades de nitrogênio e potássio (TAKANE; YANAGISAWA; PIVETTA, 2010); sem levar em consideração qual a melhor proporção de nitrato e amônio como fonte de nitrogênio.

De acordo com Amaral (2010), a existência de um número restrito de referências sobre a combinação de adubação e substrato, combinada à diversidade de condições de cultivo e de espécies, indicam a necessidade de estabelecimento de programas específicos de recomendação de adubação para o cultivo racional de orquídeas no Brasil.

No caso do silício, muitos orquidicultores desconhecem o emprego do elemento devido a não essencialidade para as plantas; mas existem indicações para emprego no cultivo de orquídeas sem respaldo científico.

2.3 Nutrição silicatada

O silício não é considerado um elemento essencial para as plantas (EPSTEIN, 1999), sendo benéfico (MA, 2004). É absorvido pelas raízes das plantas na forma neutra, como ácido monossilícico (H_4SiO_4) por processo passivo ou ativo, através de transportadores de membrana específicos para este fim e é transportado via xilema podendo ser regulado pela transpiração ou por processo passivo (DATNOFF et al., 2001). Assim, o ácido monossilícico, depois de ser absorvido pelas plantas, é depositado principalmente nas paredes das células da epiderme contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta em aumentar a resistência ao estresse abiótico (WIESE et al., 2007), ao ataque de pragas (REYNOLDS et al., 2009) e doenças (RESENDE et al., 2009), além de diminuir a transpiração (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2004), aumentar a taxa fotossintética (ALI et al., 2013; SHI et al., 2013), formação de maior área foliar (JIAO-GING et al., 2009) e favorecer a absorção de nutrientes (MATEOS-NARANJO; ANDRADES-MORENO; DAVY, 2013).

Há pesquisas que indicam os resultados promovidos pelo uso de silício como elemento benéfico para algumas culturas como: arroz (ÁVILA et al., 2010), cana-de-açúcar (CAMARGO; KORNDÖRFER; WYLER, 2014), sorgo (ROCHA; PRADO; ALMEIDA, 2011), milho (MARCUSI, 2010), alface (LUZ et al., 2006), feijão (TEIXEIRA et al., 2008), soja (EPSTEIN, 1999), banana (HENRIET et al., 2006) e uva (SOYLEMEZOGLU et al., 2009); e também para culturas de floricultura: crisântemo (SIVANESAN et al., 2013), gérbera (KAMENIDOU et al., 2010), girassol ornamental

(OLIVEIRA et al., 2013), *Paeonia lactiflora* (ZHAO et al., 2013), rosas (JÚNIOR et al., 2013), *Salvia splendens* (SOUNDARARAJAN et al., 2014) e *Zinnia elegans* (KAMENIDOU et al., 2009). Para a orquídea *Dendrobium nobile*, Carvalho et al. (2013) verificaram aumento na longevidade das flores com aplicação de 0,45 g.L⁻¹ de silicato de magnésio; e Chen et al. (2001) reportaram aumento na massa seca das plantas devido a fertilização com silício.

É conhecido a importância do silício nas plantas em aliviar estresse biótico ou abiótico (MA, 2004); existem relatos indicando que orquídeas do gênero *Phalaenopsis* cultivadas *in vitro* submetida a aplicação de Si no meio de cultivo induz benefício no crescimento (ZHOU, 1995). Mas é pouco conhecido que em determinadas condições de cultivo, o elemento pode diminuir o crescimento das plantas (LUZ et al., 2006) como em orquídeas (*Hadrolaelia*) durante a fase de aclimatização (oito meses) utilizando a fonte silicato de sódio que poderia ter causado efeito salinidade (SOARES et al., 2008).

No metabolismo vegetal o Si pode estar envolvido na síntese de lignina aumentando a rigidez dos tecidos (EPSTEIN, 1999) mas em excesso do elemento este efeito pode ser suprimido embora não exista relatos.

Estudos recentes têm indicado a relação do Si na diminuição da estequiometria dos teores foliar C:N:P em gramíneas (SCHAEFFER et al., 2012) que pode significar uma substituição parcial de compostos orgânicos por compostos de Si no tecido vegetal quando disponível para a planta, reforçando a importância do Si. No entanto não há pesquisas que investiguem essa relação para as orquídeas que são plantas perenes.

Soma-se a isto o fato que o Si em excesso ao formar dupla camada silicatada espessa abaixo da cutícula sobre a epiderme da folha (KOCHANOVÁ et al., 2014), pode diminuir as trocas gasosas e o acúmulo de biomassa da planta sem causar estresse oxidativo. Portanto, o excesso de Si teria efeito distinto de outros estresses por toxicidade que induzem aumento da quantidade de espécies reativas de oxigênio que podem causar oxidação de compostos orgânicos, como proteínas e lipídios, induzindo danos nas membranas e extravasamento do citosol para espaço livre aparente da célula e causar a morte celular (FRIDOVICH, 1986; MARSCHNER, 1995).

E os demais estudos sobre silício na nutrição mineral de orquídeas são restritos ao cultivo *in vitro* de orquídeas com o elemento fornecido via raiz (SIVANESAN; PARK, 2014) ou Si via foliar na fase inicial durante o primeiro mês de crescimento da planta (híbridos de *Phalaenopsis*) (VENDRAME et al., 2010), no entanto não há relatos sobre o uso do elemento via foliar durante todo ciclo vegetativo que pode durar até 18 meses dependendo do ambiente de cultivo.

2.4 Nutrição nitrogenada

O crescimento e floração das orquídeas são afetados significativamente pelo status de N nas plantas (LEI, 2007; YU, 2012). Em *Phalaenopsis*, sintomas de deficiência de N incluem a redução do número de folhas e área foliar, baixo teor de clorofila, redução do peso seco de folhas, e uma maior incidência de queda de folhas (YONEDA et al., 1997).

É importante o fornecimento suficiente de nitrogênio, bem como outros elementos minerais durante a fase de floração e pré-floração para garantir a qualidade e também para suportar o crescimento subsequente quando as orquídeas são cultivadas ao longo de vários ciclos de floração (SUSILO; CHANG, 2014).

Sabe-se que as formas predominantes de nitrogênio disponíveis para as plantas são os íons de amônio (NH_4^+) e de nitrato (NO_3^-), sendo que as espécies de plantas têm a capacidade de absorver e metabolizar ambas as formas de nitrogênio (SILVA et al., 2010). E cada espécie apresenta diferentes sensibilidades ao amônio.

O efeito benéfico do amônio deve-se ao menor consumo de energia, devido a sua incorporação direta na cadeia de carbono na assimilação de N, sem a necessidade das fases de redução pela ação enzimática, com gasto de energia, como ocorre para o nitrato (BITTSÁNSZKY et al., 2015), podendo incrementar a eficiência de utilização deste nutriente (SARASKETA et al., 2014).

Assim, para a obtenção de respostas benéficas quanto à aplicação de nitrogênio, deve-se considerar as práticas de manejo apropriadas que possibilitem o melhor aproveitamento do N fornecido a planta (ÁVILA et al., 2010), e os fatores genéticos.

São muito amplas as respostas que as plantas apresentam quando absorvem N amoniacal ou nítrico, mesmo sendo da mesma espécie, de maneira que há diferenças entre variedades quanto ao desenvolvimento sob aplicação de amônio (CRUZ et al., 2011) e de nitrato (HUANG et al., 2013), portanto deve-se conhecer a proporção ótima de amônio que pode ser fornecida às orquídeas epífitas. Ruamrungsri et al. (2014) relataram que *Dendrobium* Sonia 'Ear Sakul' prefere a forma de combinação de NH_4 : NO_3 a 50%/50% aplicado semanalmente via foliar 200 mg L^{-1} de N, e que a presença de NO_3^- na solução aumentou a absorção de NH_4^+ em comparação com o fornecimento de 100% NH_4^+ .

O equilíbrio entre as proporções de nitrogênio nítrico e nitrogênio amoniacal na solução nutritiva para maior crescimento da orquídea *Phalaenopsis* foi estudado por Wang (2008). O autor estudou a aplicação da solução com $0,221 \text{ g. L}^{-1}$ de N via fertirrigação no substrato, verificou que *Phalaenopsis* Blume x Taisuco Kochdian não cresce bem com 100% de NH_4^+ , e obtiveram os melhores resultados para crescimento e floração com a aplicação de 75% do nitrogênio na forma de NO_3^- . Para cultivo de *Cymbidium*, a indicação foi de 20% do N na forma de amônio que deve ser adicionado na solução nutritiva (PIENAAR; COMBRINK, 2007).

Por isso, o NO_3^- ou as misturas com baixas proporções de NH_4^+ são a melhor forma de fornecimento de N para as plantas devido ao efeito tóxico da fertilização nitrogenada baseada em altas proporções de NH_4^+ (CHEN et al., 2005; DONG et al., 2004; SHEN et al., 2003).

A sensibilidade das plantas ao amônio é um problema mundial, limitando o crescimento das plantas, pois a aplicação prolongada de amônio como única fonte de nitrogênio pode resultar em distúrbios fisiológicos e morfológicos que levam à diminuição do crescimento e a toxicidade das plantas (ESTEBAN et al., 2016).

A toxicidade de amônio nas plantas cultivadas induz: inibição da absorção de cátions (K^+ , Ca^+ e Mg^+), aumento no estresse oxidativo e alto custo energético para manter baixos níveis de NH_4^+ no conteúdo citosólico (BRITTO; KRONZUCKER, 2002; BITTSÁNSZKY et al., 2015), mudanças na arquitetura das raízes e clorose nas folhas com reflexos na diminuição do crescimento da planta; entretanto não há estudos relatando os efeitos da toxidez de amônio em orquídeas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos em orquidário comercial localizado no município de Itápolis (SP), a uma altitude de 481 metros, com as coordenadas geográficas de 21° 35' 44" S e 48° 48' 46" W. As mudas de orquídeas utilizadas, *Phalaenopsis* Golden Peoker e *Dendrobium* Valentine, foram obtidas por propagação *in vitro* (semeadura), aclimatizadas em bandejas de plástico com substrato *Sphagnum* seco, recebendo quinzenalmente a solução nutritiva completa de Sarruge (1975) via fertirrigação. Após seis meses, foram transplantadas individualmente para vasos de plástico.

As plantas foram mantidas em casa de vegetação coberta com plástico transparente e tela sombreadora com sombreamento de 80%, cultivadas em vasos de polietileno cor preta (diâmetro superior: 13 cm; diâmetro inferior: 8,4 cm; altura: 10,6 cm) com volume de 0,9 L. Os vasos foram preenchidos com camada de argila expandida no fundo (25 % do volume total) e com uma mistura 2:1 (v/v) de casca de pinus média e carvão e acomodados em mesas suspensas a 0,65 m de altura. A posição dos vasos foi alterada a cada 15 dias aleatoriamente, a fim de eliminar os possíveis efeitos de bordadura.

As irrigações foram realizadas duas vezes por semana no inverno e três vezes por semana no verão, com 100 mL de água destilada (pH=6,8 e CE=164,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$) por vaso.

3.1 Experimento 1: Aplicação foliar de fontes e concentrações de silício em orquídeas epífitas

As plantas foram fertirrigadas com a solução nutritiva completa de Sarruge (1975) no substrato, uma vez por semana.

A aplicação de silício via foliar consistiu em esquema fatorial 5x3, tendo três fontes e cinco concentrações de silício: controle (zero); 14,3; 28,6; 42,9 e 57,2 mmol L⁻¹ de Si correspondentes a 0; 5; 10; 15 e 20 mL do ácido monossilícico (Zumsil®); 0; 2,4; 4,8; 7,2 e 9,6 mL do silicato de potássio (Sifol®); 0; 3,2; 6,4; 9,6 e 12,8 mL da

mistura do silicato de potássio e silicato de sódio, em dois experimentos para os genótipos de orquídeas: *Phalaenopsis* Golden Peoker e *Dendrobium* Valentine. Em ambos experimentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado e com cinco repetições e a unidade experimental consistiu em três plantas, com uma planta por vaso.

As fontes de silício apresentaram as seguintes características: ácido monossilícico (Zumsil®), densidade = 1,25 e Si = 79,3 g L⁻¹; silicato de potássio (Sifol®), densidade = 1,41 e Si = 168 g L⁻¹ e K₂O = 211,5 g L⁻¹; e a mistura silicato de potássio com silicato de sódio, densidade = 1,15; Si = 124 g L⁻¹; K₂O = 42,3 g L⁻¹ e Na = 31,6 g L⁻¹. Em cada tratamento, o valor pH da solução das fontes de Si foi ajustado entre 5,7 a 5,9.

Salienta-se que as concentrações de potássio foram balanceadas com cloreto de potássio para manter 211,5 g L⁻¹ de K₂O em todos os tratamentos. Já nos tratamentos para a fonte silicato de potássio e silicato de sódio, as concentrações de sódio foram balanceadas com cloreto de sódio para garantir 31,6 g L⁻¹ de sódio em cada tratamento.

Considerando que as orquídeas absorvem nutrientes e Si via foliar e raízes (RAHAYU, 1980; NAIR et al., 2002) a solução foi aplicada por planta utilizando micro - pulverizador com volume de calda suficiente para recobrimento da área foliar total de cada planta, sendo crescente com o desenvolvimento das mudas (variando de 30 até 50 ml por planta). A frequência da aplicação dependeu do crescimento vegetativo das mudas sendo realizada a pulverização foliar de Si a cada 30 dias nos primeiros seis meses e uma aplicação a cada 15 dias nos últimos 12 meses.

Após 18 meses do início da aplicação de Si foliar quando as plantas iniciaram a floração (emissão da primeira haste) foram realizadas avaliações para todos os experimentos de ambas espécies estudadas: diâmetro do caule (mm) mensurado a 2 cm da base do caule por meio de leituras com paquímetro digital (Starrett®727-2001); comprimento radicular (cm); volume radicular (mL) determinado por meio do método da proveta volumétrica, 50 mL (CARRIGAN; FREY, 1980); área foliar (cm²), obtida de todas as folhas das plantas a partir de um medidor digital (Li-Cor, modelo L1-3000®); vazamento de eletrólitos (DIONISIO-SESE; TOBITA, 1998), índice da cor verde (com aparelho clorofilômetro portátil modelo CCM-200 da OptiScience®, na parte central da

superfície adaxial da última folha totalmente desenvolvida de cada planta); número de pseudobulbos e altura da planta (cm) somente para *Dendrobium* Valentine; número de folhas e largura da planta (correspondente a distância do ápice das duas últimas folhas totalmente expandidas, em cm) somente para *Phalaenopsis* Golden Peoker.

As orquídeas foram divididas em parte aérea e raiz e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 a 70°C, até atingirem massas constantes. Obtiveram-se a massa da matéria seca da parte aérea. O material vegetal foi moído e, em seguida, determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e S seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983) e o teor de C pelo método Dumas com aparelho analisador de C Modelo CN628 LECO®. Em função do teor desses nutrientes e da matéria seca, calculou-se o acúmulo de C, N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea.

O teor de Si no tecido foliar foi determinado pelo método proposto por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004), e multiplicado pela matéria seca obtendo-se o acúmulo de Si na parte aérea.

A lignina foi determinada pelo método de 'Klason' (SILVA; QUEIROZ, 2002) e a proteína foi estimada pela multiplicação do teor de nitrogênio pelo fator de conversão (N \times 6,25).

Os resultados obtidos foram analisados utilizando-se o teste F a 1 e 5% de probabilidade; e quando significativos para doses, foram realizados estudos de regressão polinomial e para fontes foi realizado o teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade). Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2014).

3.2 Experimento 2: Proporções de amônio e nitrato na nutrição e no crescimento de orquídeas epífitas

A concentração de nitrogênio empregada na solução nutritiva, foi 0,136 g L⁻¹ de N (0,0097 mol L⁻¹) que promove o crescimento adequado das plantas de *Phalaenopsis* (MANTOVANI et al., 2015). As concentrações de nutrientes, em mg L⁻¹, na solução nutritiva empregada foi: 225 N; 31 P; 234 K; 200 Ca; 48 Mg; 64 S; 0,5 B; 0,5 Mn; 0,05 Zn; 0,02 Cu; 0,01 Mo; 5 Fe (SARRUGE, 1975).

O nitrato de cálcio (PM= 164 g/mol) foi utilizado como fonte de N nítrico, e o sulfato de amônio (PM= 132 g/mol) foi empregado como fonte de N amoniacal.

Os tratamentos foram constituídos por cinco proporções de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ (%), sendo: 0/100, 25/75; 50/50, 75/25, 100/0. A unidade experimental foi constituída de três plantas, com uma planta por vaso, com quatro repetições, sendo dispostas em delineamento inteiramente casualizado.

A aplicação da solução nutritiva de Sarruge (1975) com a fonte de nitrogênio modificada, conforme os tratamentos, foi realizada via fertirrigação, uma vez por semana; o volume de solução aplicado por planta variou com o crescimento das mudas, aproximadamente 50 ml nos primeiros seis meses e 90 ml nos últimos seis meses de duração do experimento.

Em cada tratamento, o valor do pH da solução foi ajustado para 5,7 a 5,9 e salienta-se que as concentrações de cálcio foram balanceadas com cloreto de cálcio para manter $0,29 \text{ g L}^{-1}$ de Ca em todos os tratamentos.

Após 12 meses do início da aplicação das proporções de amônio, quando as plantas iniciaram a floração (emissão da primeira haste) foram realizadas avaliações para todos os experimentos de ambas espécies estudadas: diâmetro do caule (mm) mensurado a 2 cm da base do caule por meio de leituras com paquímetro digital (Starrett®727-2001); índice da cor verde (com aparelho clorofilômetro portátil modelo CCM-200 da OptiScience®, na parte central da superfície adaxial da última folha totalmente desenvolvida de cada planta) e vazamento de eletrólitos (DIONISIO-SESE; TOBITA, 1998) ; número de pseudobulbos e altura da planta (cm) somente para *Dendrobium* Valentine; número de folhas e largura da planta (cm) somente para *Phalaenopsis* Golden Peoker.

As orquídeas foram divididas em parte aérea e raiz e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65 a 70°C, até atingirem massas constantes. Obtiveram-se a massa da matéria seca da parte aérea. O material vegetal foi moído e, em seguida, determinaram-se os teores de N, K, Ca e Mg seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983). Com os resultados do teor desses nutrientes e da matéria seca, calculou-se o acúmulo de N, K, Ca e Mg na parte aérea.

A partir desses dados calculou-se: eficiência de uso do N = (matéria seca total produzida)²/(conteúdo total do N na planta) (SIDDIQI; GLASS, 1981) e eficiência de absorção de N = (conteúdo total do N na planta)/ (matéria seca de raízes) (SWIADER et al., 1994).

Os resultados obtidos foram analisados utilizando-se o teste F a 1 e 5% de probabilidade; e quando significativos para doses, foram realizados estudos de regressão polinomial e para fontes foi realizado o teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade). Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: Aplicação foliar de fontes e concentrações de silício em orquídeas epífitas

4.1.1 Acúmulo de nutrientes e de silício

O acúmulo de C em *Phalaenopsis* diminuiu linearmente em função da aplicação de ácido monossilícico (Si_Mono), aumentou de forma quadrática com a aplicação de silicato de potássio (Si_K) atingindo ponto de máximo (946,8 mg por planta) com a aplicação de 26,7 mmol L⁻¹ de Si; e diminuiu de forma quadrática com a aplicação da mistura de silicato de potássio com silicato de sódio (Si_K/Na) com ponto de mínimo (235,2 mg por planta) em 77,3 mmol L⁻¹ de Si (Figura 1A).

O acúmulo de N, K, Ca e Mg em *Phalaenopsis* aumentou de forma quadrática com o incremento das concentrações de Si na forma de silicato de potássio e da mistura de silicatos de potássio e sódio; no entanto, não houve efeito do Si utilizado na forma de ácido monossilícico (Figura 1: B, D, E e F).

O acúmulo de K foi influenciado pela aplicação de Si, atingindo o ponto de máximo (564,5 mg por planta) com a aplicação de 27,6 mmol L⁻¹ de Si (silicato de potássio) em *Phalaenopsis*.

O acúmulo de P, S e Si em *Phalaenopsis* aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de Si, independente da fonte aplicada (Figura 1: C, G e H).

O maior acúmulo de Si em *Phalaenopsis* foi observado com a aplicação de 33,7 mmol L⁻¹ de Si utilizando como fonte de Si a mistura de silicatos de potássio e sódio, seguido pelo silicato de potássio com a aplicação de 30,9 mmol L⁻¹ de Si e ácido monossilícico com a concentração de 29,6 mmol L⁻¹ de Si (Figura 1H).

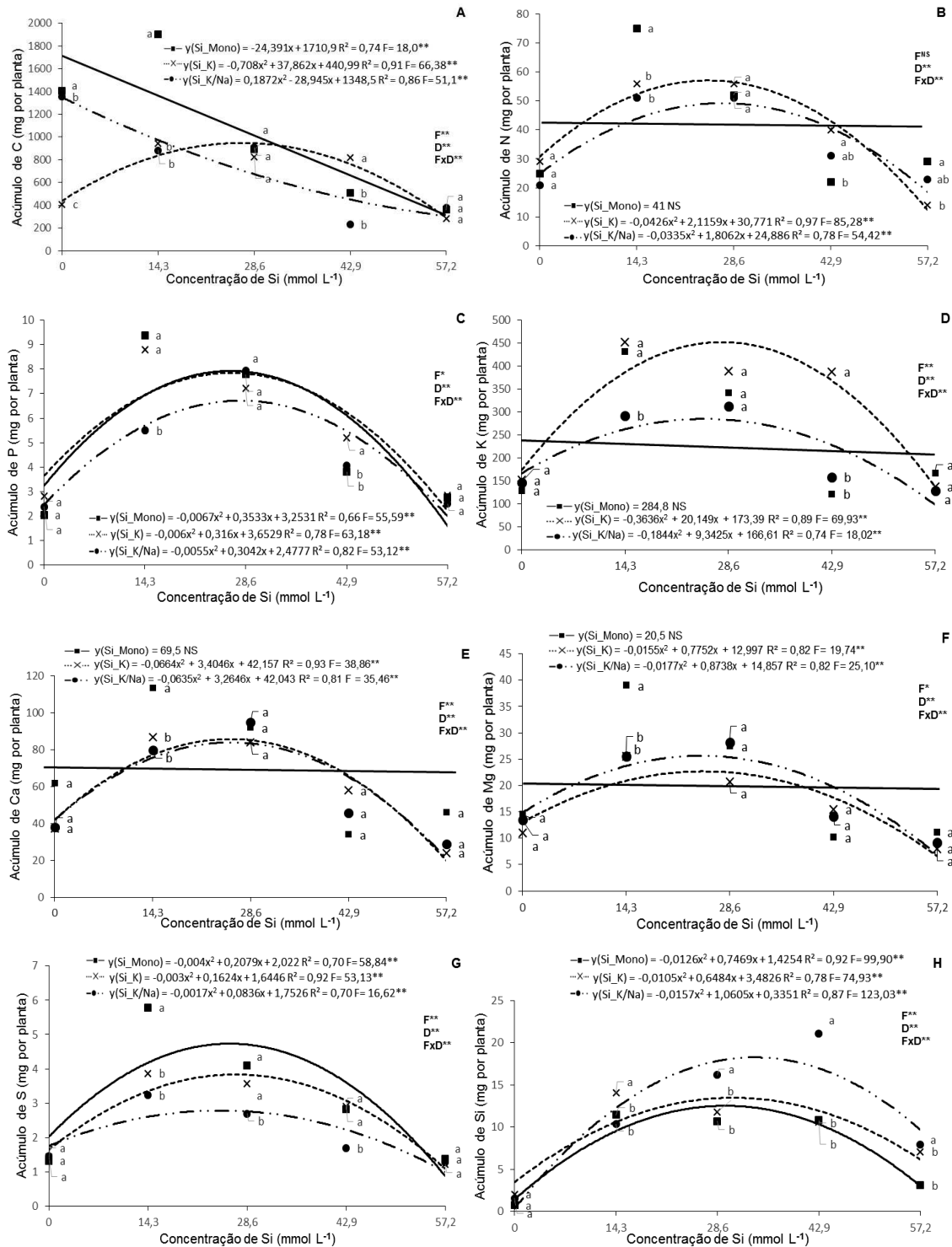


Figura 1. Acúmulo de C, N, P, K, Ca, Mg, S e Si na parte aérea de *Phalaenopsis* Golden Pecker em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

O acúmulo de C, N, K e S, em *Dendrobium* aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e mistura de silicato de potássio com silicato de sódio e diminuiu linearmente com o aumento das concentrações de silicato de potássio (Figura 2: A, B, D e G).

O maior acúmulo de K em *Dendrobium* (244,1 mg por planta) foi com a aplicação de 23,4 mmol L⁻¹ de Si (silicato de potássio e sódio).

O maior acúmulo de C em *Dendrobium* (1193,6 e 1155,7 mg por planta) foi observado com a aplicação de ácido monossilícico (14,2 mmol L⁻¹ de Si) e mistura de silicato de potássio com silicato de sódio (24,2 mmol L⁻¹ de Si) respectivamente.

O acúmulo de P, Ca e Mg em *Dendrobium* aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico; diminuiu linearmente com a aplicação de silicato de potássio sem efeito do Si com o emprego da mistura de silicato de potássio e silicato de sódio (Figura 2: C, E, F e Figura 4: A e D).

O acúmulo de Si em *Dendrobium* apresentou incremento de forma linear com o aumento das concentrações de ácido monossilícico; e incremento de forma quadrática com o aumento das concentrações da mistura de silicato de potássio e silicato de sódio, atingindo o maior acúmulo (27,62 mg por planta) com a aplicação de 52 mmol L⁻¹ de Si; e não houve efeito com o aumento das concentrações de Si na forma de silicato de potássio (Figura 2H).

De forma geral, a maior concentração de Si via foliar das fontes testadas, promoveu o menor acúmulo de nutrientes em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, pois o conteúdo mineral do tecido das orquídeas depende da adubação (Naik *et al.*, 2009).

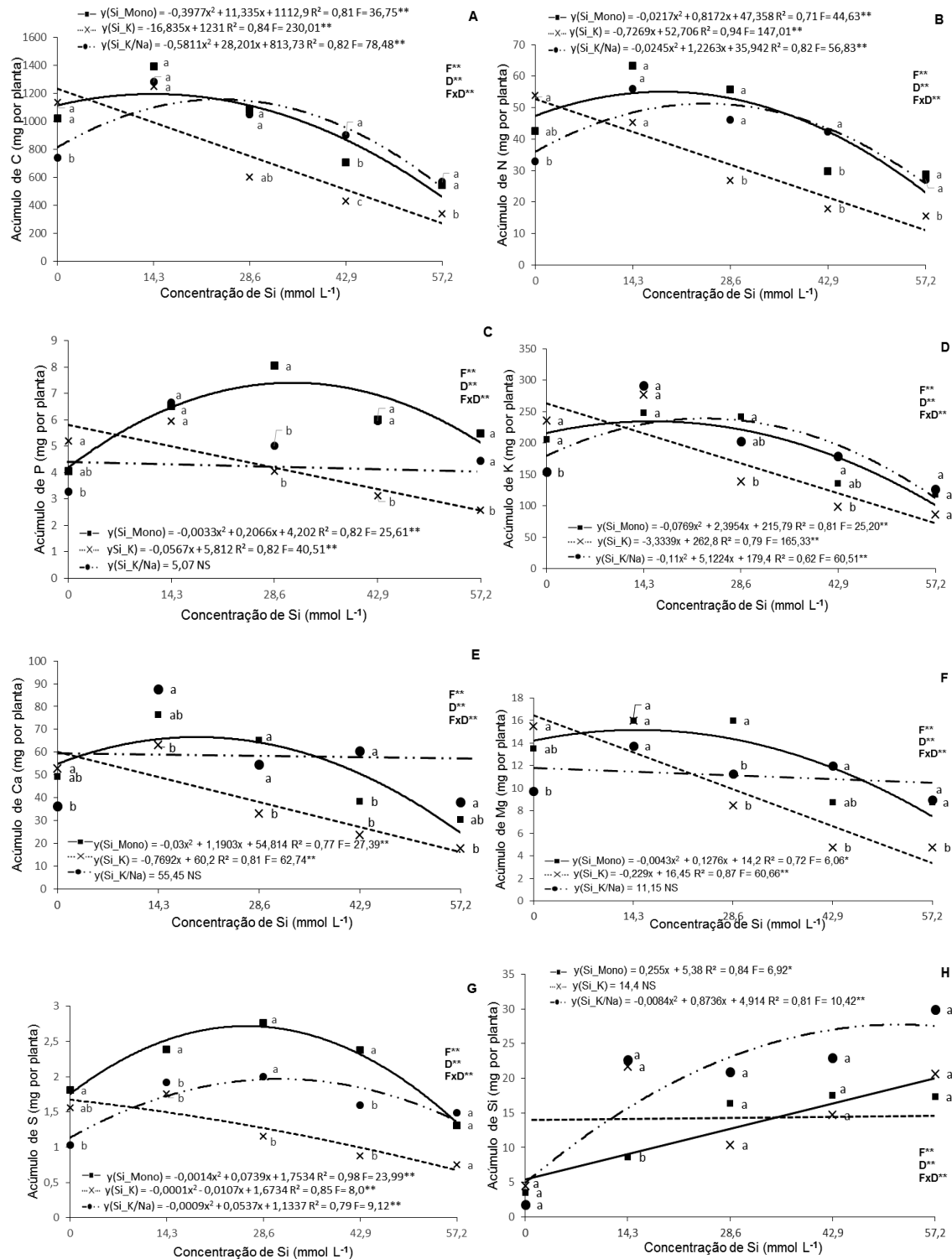


Figura 2. Acúmulo de C, N, P, K, Ca, Mg, S e Si na parte aérea de *Dendrobium Valentine* em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

4.1.2 Teores de lignina e proteína, vazamento de eletrólitos e relação estequiométrica

O teor de lignina em *Phalaenopsis* apresentou incremento de forma quadrática com o aumento das concentrações de Si atingindo pontos de máximo (0,62; 0,55 e 0,61 g kg⁻¹) com a aplicação de 25; 12,5 e 18,2 mmol L⁻¹ de Si na forma de ácido monossilícico, silicato de potássio e mistura de silicato de potássio com silicato de sódio respectivamente (Figura 3A).

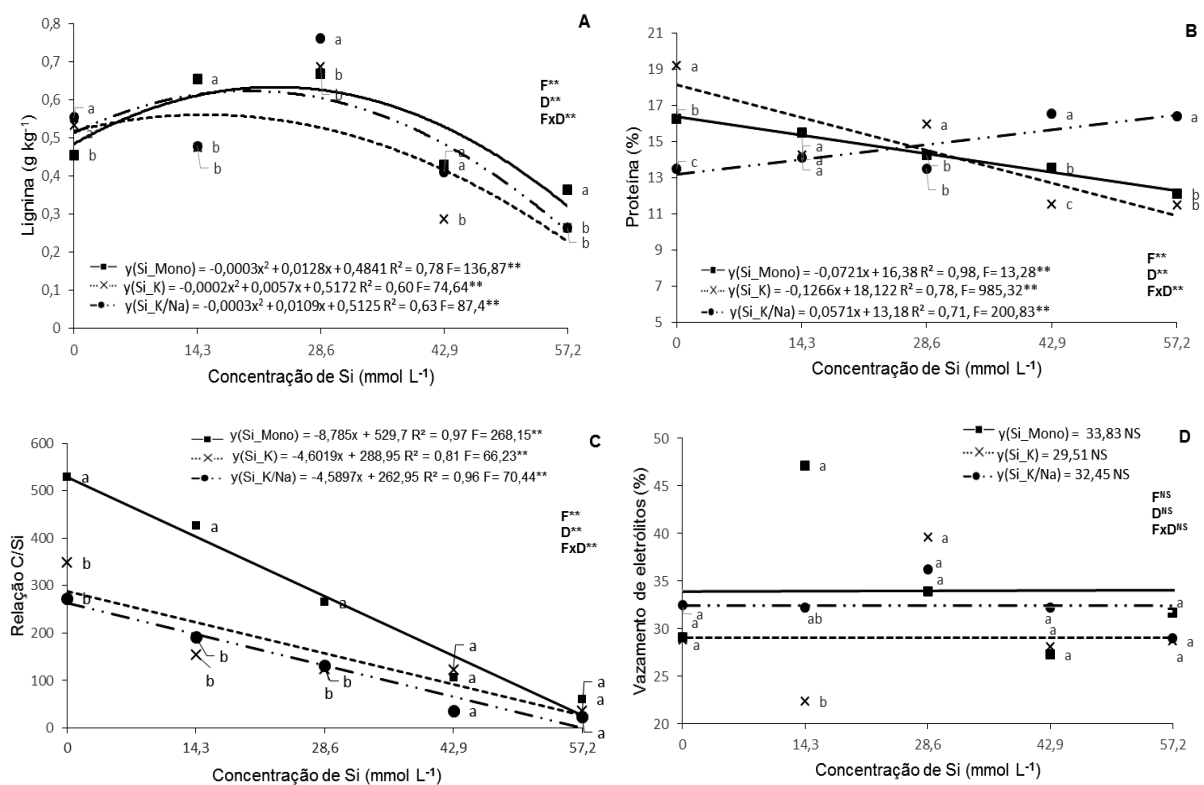


Figura 3. Teor de lignina (A), teor de proteína (B), relação C/Si (C) e vazamento de eletrólitos (D) em *Phalaenopsis* Golden Pecker em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * p<0,05; ** p<0,01; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O teor de proteína em *Phalaenopsis* diminuiu de forma linear com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e silicato de potássio e

aumentou de forma linear com a aplicação das concentrações de Si na forma de silicato de potássio e sódio (Figura 3B).

Em *Dendrobium* as concentrações e fontes de silício não influenciaram o teor de lignina e teor de proteína nas plantas (Figura 4: A e B); resultado semelhante foi verificado por Radomski (2006) na planta ornamental *Maytenus ilicifolia*, um ano após a aplicação de 0 a 600 kg de Si ha⁻¹ no solo. O mesmo foi obtido por Fleck et al. (2015) que avaliaram o efeito da presença (1,07 mmol L⁻¹) ou ausência do Si na produção de lignina em plantas de arroz, milho e cebola.

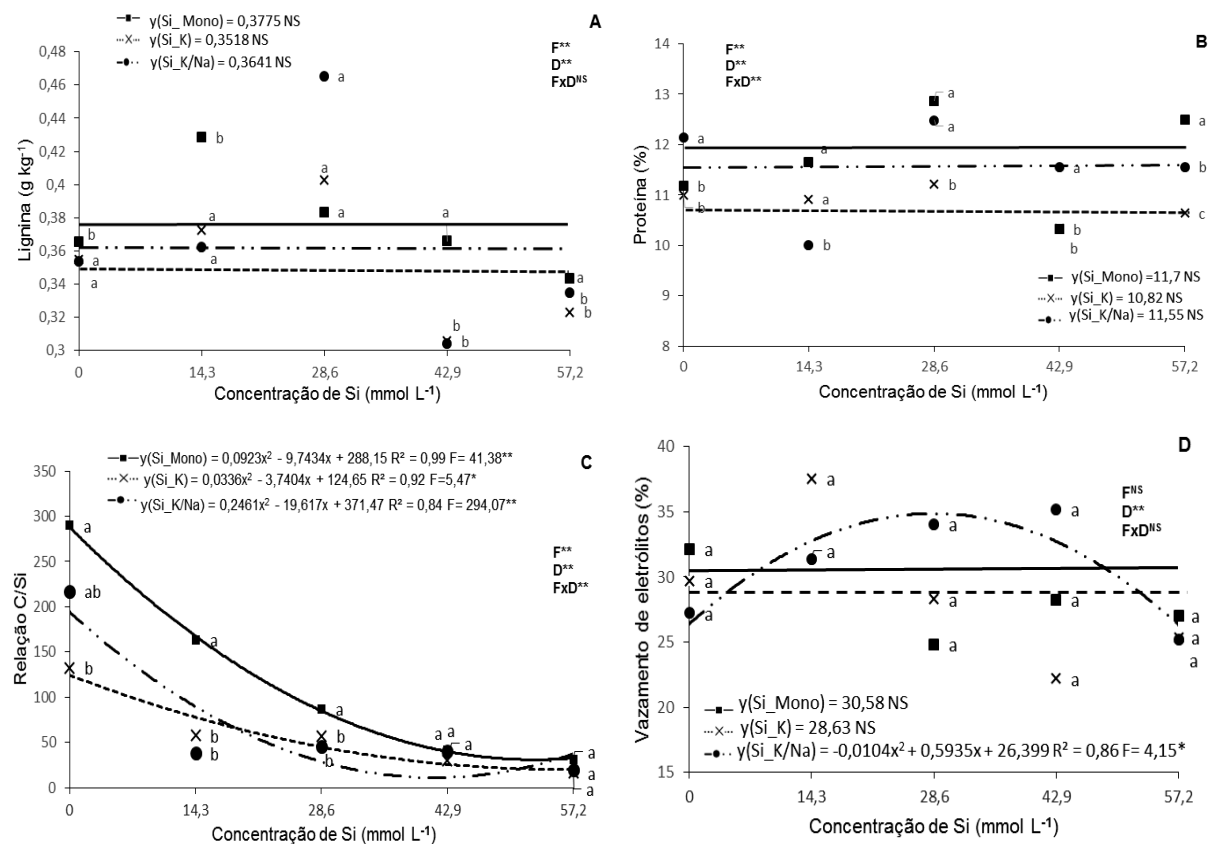


Figura 4. Teor de lignina (A), teor de proteína (B), relação C/Si (C) e vazamento de eletrólitos (D) em *Dendrobium* Valentine em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

As diferentes fontes e concentrações de Si não alteraram o teor de proteína em *Dendrobium Valentine*, diferindo do aumento na proteína solúvel de *Dendrobium moniliforme* quando cultivado *in vitro* com adição de silicato de sódio ($0,4 \text{ mmol L}^{-1}$) (DUAN; TANG; WANG, 2013) sob baixas temperaturas. Considerando que no cultivo de *Dendrobium Valentine* não ocorreu nenhum estresse por efeito de temperatura, podemos afirmar que o Si promove melhorias no cultivo das orquídeas principalmente quando submetidas a condições de temperatura muito elevadas ou muito baixas. No caso da *Phalaenopsis*, o aumento no teor de proteína com o aumento das concentrações da mistura de silicato de potássio e silicato de sódio seria devido ao aumento no acúmulo de N e S que são usados na síntese de proteína (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

A aplicação das diferentes fontes e concentrações de Si não influenciaram o vazamento de eletrólitos para *Phalaenopsis* (Figura 3D). E em *Dendrobium* apenas a mistura de silicato de potássio com silicato de sódio provocou incremento de forma quadrática com ponto de máximo (34,8) aplicando-se $28,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de Si (Figura 4D).

A relação C/Si do tecido foliar diminuiu linearmente para *Phalaenopsis* (Figura 3C) e diminuiu de forma quadrática para *Dendrobium* (Figura 4C) com o aumento da concentração de Si de todas as fontes testadas.

Foi observada diminuição nas relações C:N:P no tecido foliar de *Phalaenopsis* e de *Dendrobium* com o aumento das concentrações de Si aplicadas (Tabela 1).

Modificações na estequiometria C:N:P também foram verificadas por Schaller et al. (2012) para gramínea *Pragmites australis* submetida a aplicação de doses crescentes de Si (0; 4,66 e 46,6 g de Si amorfo) que diminuiu o teor de C com doses elevadas de Si, isso pode ser devido a uma substituição parcial de compostos orgânicos por compostos de Si no tecido vegetal, o que representa uma vantagem para a planta pois os depósitos de silício exigem menos energia para serem formados e podem conferir defesas similares à lignina (SCHOELYNCK et al., 2010).

Portanto, essa diminuição no conteúdo de C, N, P que ocorreu sob a aplicação de altas doses de Si pode refletir uma mudança da planta a um mecanismo de defesa com menor gasto energético quando altas concentrações de Si estão disponíveis no ambiente (SCHALLER et al., 2012) influenciando também o acúmulo dos outros nutrientes; com isso houve diminuição na relação C/Si do tecido foliar.

Tabela 1. Relação C:N:P para *Phalaenopsis* Golden Peoker e *Dendrobium* Valentine submetidas a aplicação das concentrações de ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio e sódio, 18 meses após o início da aplicação de Si.

<i>Phalaenopsis</i> Golden Peoker			
Concentrações de Si (mmol L ⁻¹)	Ácido monossilícico	Silicato de Potássio	Silicato de Potássio e Sódio
0	199:12:1	148:11:1	177:9:1
14,3	151:8:1	136:8:1	158:9:1
28,6	133:7:1	114:8:1	116:7:1
42,9	132:8:1	108:5:1	105:6:1
57,2	133:8:1	103:5:1	126:7:1
<i>Dendrobium</i> Valentine			
Concentrações de Si (mmol L ⁻¹)	Ácido monossilícico	Silicato de Potássio	Silicato de Potássio e Sódio
0	252:11:1	220:9:1	229:10:1
14,3	216:10:1	157:7:1	222:8:1
28,6	134:7:1	149:7:1	195:10:1
42,9	118:5:1	137:6:1	152:7:1
57,2	99:5:1	132:6:1	128:6:1

4.1.3 Efeito do silício no crescimento e no desenvolvimento

Em *Phalaenopsis*, a largura da planta, diâmetro do caule, comprimento radicular e número de folhas diminuíram linearmente com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e da mistura de silicato de potássio com silicato de sódio; e aumentaram de forma quadrática com o aumento das concentrações de silicato de potássio atingindo os pontos de máximo (35,5; 16; 22; 6) com a aplicação de 15; 19; 21 e 23 mmol L⁻¹ de Si, respectivamente (Figura 5: A, B, C e E).

O volume radicular diminuiu linearmente com o aumento das concentrações e fontes de Si aplicadas (Figura 5D). A área foliar diminuiu de forma linear com a aplicação das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico; e aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de silicato de potássio e com a mistura de silicato de potássio e silicato de sódio (Figura 5F).

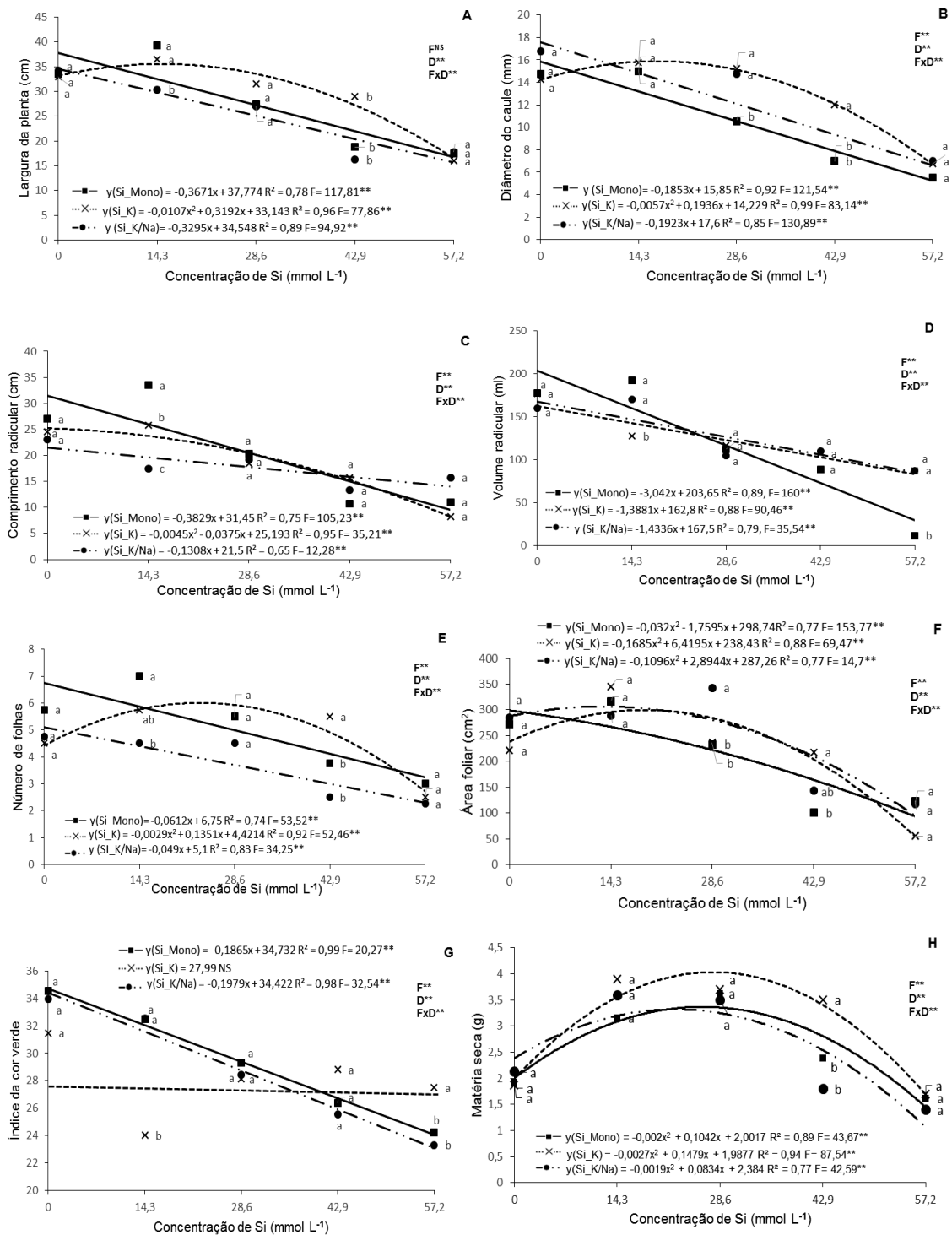


Figura 5. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), comprimento radicular (C), volume radicular (D), número de folhas (E), área foliar (F), índice da cor verde (G) e matéria seca total (H) de *Phalaenopsis Golden Peoker* em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na) após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

O índice da cor verde (ICV) para *Phalaenopsis*, diminuiu linearmente com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e mistura de silicato de potássio e silicato de sódio; e não foi influenciado pela aplicação de silicato de potássio (Figura 5G).

A matéria seca da *Phalaenopsis* apresentou incremento de forma quadrática para as fontes e concentrações de Si testadas. Os pontos de máxima matéria seca (3,4; 4,1 e 3,3 g) foram observados com a aplicação de: 26; 27,4 e 21,8 mmol L⁻¹ de Si utilizando as fontes ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio e sódio respectivamente. Em contrapartida, as concentrações: 39; 39,6 e 40 mmol L⁻¹ de Si das fontes ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio e sódio respectivamente, resultaram em queda de 10% da matéria seca (Figura 5H).

Para *Dendrobium* os valores médios obtidos para altura da planta, comprimento radicular e volume radicular diminuíram linearmente com o aumento das concentrações de Si das fontes testadas (Figura 6: A e C).

O diâmetro do caule de *Dendrobium* não foi alterado com a aplicação de Si na forma da mistura de silicato de potássio com silicato de sódio, mas diminuiu linearmente com a aplicação de ácido monossilícico e diminuiu de forma quadrática com o aumento das concentrações de silicato de potássio (Figura 6B).

O maior número de pseudobulbos em *Dendrobium* (5,6) foi verificado com a aplicação de 25,4 mmol L⁻¹ de Si utilizando como fonte a mistura de silicato de potássio com silicato de sódio, as outras fontes: ácido monossilícico e silicato de potássio resultaram em média em 4,1 e 4,4 pseudobulbos respectivamente com a aplicação de 11 e 9,1 mmol L⁻¹ de Si (Figura 6E).

A área foliar de *Dendrobium* diminuiu de forma linear com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e silicato de potássio e ocorreu incremento de forma quadrática para aplicação da mistura de silicato de potássio e silicato de sódio atingindo ponto de máximo (57,9) com a aplicação de 25 mmol L⁻¹ de Si (Figura 6F).

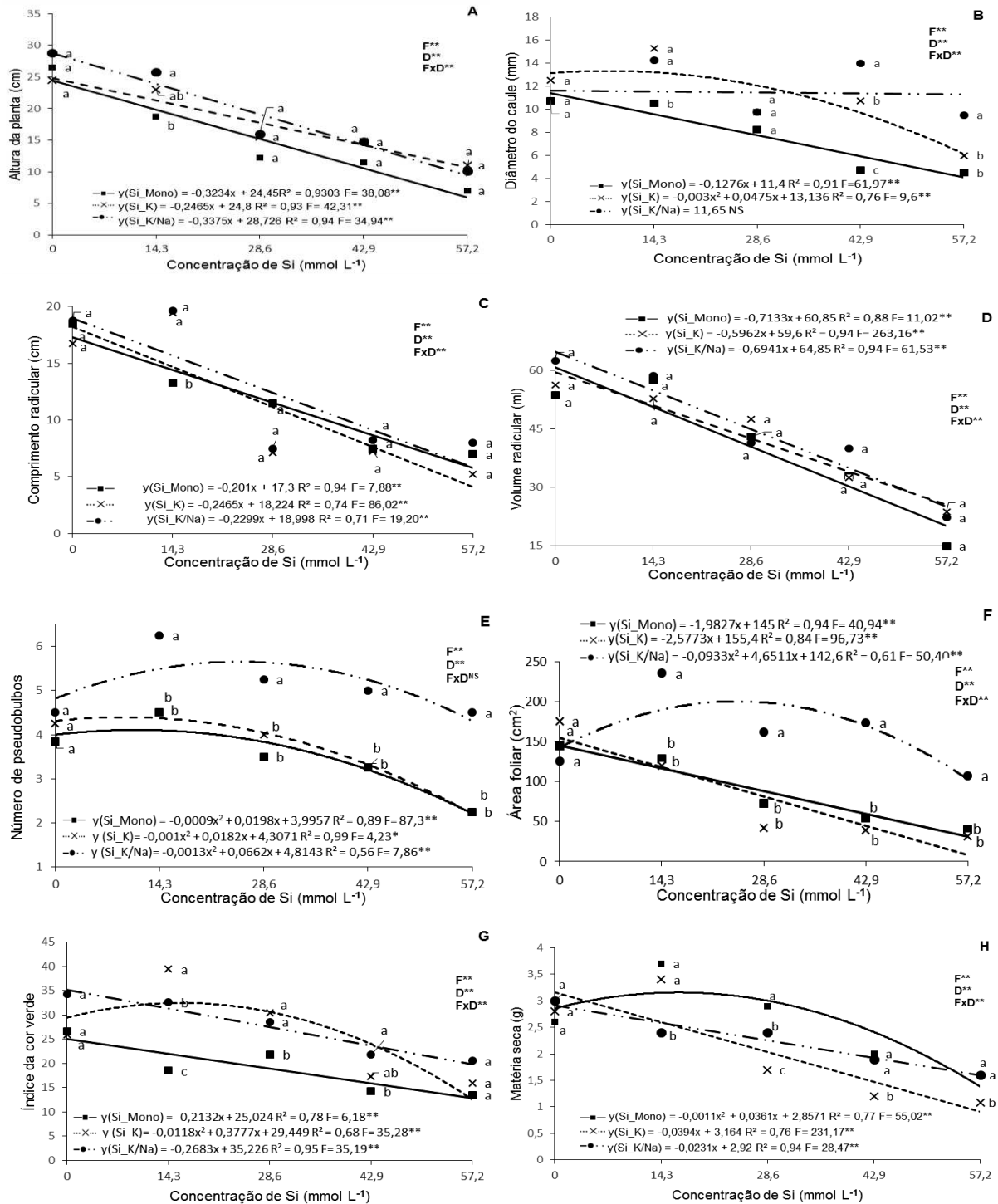


Figura 6. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), comprimento radicular (C), volume radicular (D), número de folhas (E), área foliar (F), índice da cor verde (G) e matéria seca total (H) de *Dendrobium Valentine* em função de concentrações crescentes de ácido monossilícico (Si_Mono), silicato de potássio (Si_K) e silicato de potássio e sódio (Si_K/Na), após 18 meses do início da aplicação de Si. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

O índice da cor verde de *Dendrobium* diminuiu de forma linear com o aumento das concentrações de Si na forma de ácido monossilícico e silicato de potássio com silicato de sódio; e aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de silicato de potássio atingindo ponto de máximo (32) com a aplicação de 16 mmol L⁻¹ de Si (Figura 6G). Os benefícios do Si para o metabolismo das plantas contribuem para manter as folhas fotossinteticamente ativas, portanto aumenta a síntese de clorofila que reflete em maior (ICV) (CAMPOS et al., 2016), mas o excesso de Si diminui o (ICV) verificado em *Phalaenopsis* e *Dendrobium*.

Os valores médios (ICV) em *Phalaenopsis* e *Dendrobium* submetidas a aplicação das fontes de Si foram menores do que os valores médios obtidos em plantas consideradas suficientes em N por Mantovani et al. (2015) utilizando 100% da solução nutritiva de Sarruge (1975) sem silício, após oito meses de cultivo dos híbridos de *Phalaenopsis* Taisuco Swan e *Phalaenopsis* Pink Chiffon. O Si pode influenciar os efeitos protetores dos mecanismos fotossintéticos, e o balanço dos nutrientes (MATEOS-NARANJO; ANDRADES-MORENO; DAVY, 2013), principalmente do N. Botelho et al. (2005) também demonstraram que a aplicação de silício diminuiu a absorção de N.

A matéria seca total de *Dendrobium* diminuiu linearmente com o aumento das concentrações de Si na forma de silicato de potássio e com a mistura de silicato de potássio com silicato de sódio; e aumentou de forma quadrática com o aumento das concentrações de ácido monossilícico (Figura 6H).

O ponto de máxima matéria seca (3,1; 3,16 e 2,9 g) foi observado com a aplicação de: 16,4; 0 e 0 mmol L⁻¹ de Si utilizando a fonte ácido monossilícico, silicato de potássio, e silicato de potássio com silicato de sódio, respectivamente. Em contrapartida, a concentração de 17,6; 8,2 e 13 mmol L⁻¹ de Si da fonte ácido monossilícico, silicato de potássio e silicato de potássio com silicato de sódio respectivamente, resultaram em queda de 10% da matéria seca máxima.

Para todos os dados biométricos avaliados nos dois híbridos de orquídeas, a maior concentração de Si das fontes testadas apresentou menor eficiência para os resultados obtidos, demonstrando que doses elevadas de Si diminuem o crescimento e desenvolvimento das orquídeas (Apêndice A e B), corroborando com os resultados obtidos por Soares et al. (2008) com a aplicação quinzenal via foliar de silicato de

potássio e silicato de sódio na aclimatização do híbrido de orquídea *Hadrolaelia lobata* x *Hadrolaelia purpurata* após durante oito meses.

As necessidades minerais das orquídeas variam com as espécies e com os estágios de crescimento da planta (NAIK et al., 2009) por isso a orquídea *Dendrobium* Valentine é mais sensível a aplicação foliar de Si do que a *Phalaenopsis* Golden Peoker.

As maiores concentrações de Si aplicadas via foliar corresponderam às menores médias de matéria seca das orquídeas. Resultado semelhante foi verificado por Vendrame et al. (2010) com a aplicação via foliar do silicato de potássio em duas cultivares de *Phalaenopsis*.

O nível crítico tóxico de Si que promoveu diminuição em 10% na matéria seca das orquídeas foram as concentrações superiores a 39 e 18 mmol L⁻¹ de Si (ácido monossilícico) para *Phalaenopsis* e *Dendrobium* respectivamente.

A maior largura da planta (35,5 cm) foi obtida com a aplicação de 14,9 mmol L⁻¹ de Si com a fonte silicato de potássio. Zhou (1995), também observou aumento de tamanho das folhas de *Phalaenopsis*, mas com a adição de concentrações de 0,1-1,0 mg L⁻¹ de silicato de cálcio ao meio de cultura na fase de cultivo *in vitro*, sendo que o presente estudo foi desenvolvido na fase de crescimento *ex vitro* até a floração.

A toxidez de Si diminuiu o número de pseudobulbos em *Dendrobium*, que segundo Ng e Hew (2000), desempenham função essencial no crescimento e sobrevivência das orquídeas, acumulando água, nutrientes minerais e carboidratos, que auxiliam na floração e emissão de brotação. De acordo com Wang (1995) em *Dendrobium*, o desenvolvimento e crescimento dos pseudobulbos resultam em maior número de flores no ano seguinte.

Nas células epidérmicas e nas paredes dos estômatos o Si é acumulado na forma de H₄SiO₄ (ácido monossilícico), e quando a planta começa a perder água (estresse hídrico) essa forma monomérica se transforma em formas poliméricas. Isto é, o Si começa a formar cadeias maiores de ácido polissilícico que diminui a flexibilidade das paredes dos estômatos que têm tendência de permanecerem fechados. Com os estômatos fechados, a transpiração diminui e a perda de água também, por isso, segundo Faria (2000) a fotossíntese diminui, e isto pode ter levado ao menor desenvolvimento e conseqüente menor massa das plantas de orquídeas

cultivadas com a aplicação de altas doses de Si, assim como foi verificado por Luz et al. (2006) no cultivo de alface.

4.2 Experimento 2: Proporções de amônio e nitrato na nutrição e no crescimento de orquídeas epífitas

4.2.1 Efeito do amônio na nutrição, índice da cor verde e vazamento de eletrólitos

O acúmulo médio dos macronutrientes na parte aérea de *Phalaenopsis* Golden Peoker e em *Dendrobium* Valentine seguiu a seguinte ordem crescente de acúmulo: $K > Ca > N > Mg$; houve incremento de forma quadrática e depois decréscimo do acúmulo desses nutrientes com o aumento das proporções de amônio (Figura 7).

O aumento da concentração de amônio na solução nutritiva incrementou e depois diminuiu o acúmulo de N total atingindo o ponto de máximo na proporção de amônio igual a 28% e 36% para *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente (Figura 7A).

A toxidez de amônio promoveu menor acúmulo de N total nas orquídeas, assim como foi verificado também por outros autores em outras culturas como *Triticum aestivum* e *Solanum lycopersicum* (HORCHANI; HAJRI; ASCHI-SMITI, 2011), *Arabidopsis thaliana* (SARASKETA et al., 2014), *Cucumis sativus* (ROOSTA et al., 2009; CAMPOS, 2013), *Passiflora edulis* (JÚNIOR, 2015) e *Saccharum* spp. (ISHIKAWA et al., 2009; CAMPOS, 2013).

Nota-se que o equilíbrio da proporção de amônio igual a 33% e 45%, favoreceu a absorção de K pelas orquídeas *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente (Figura 7B).

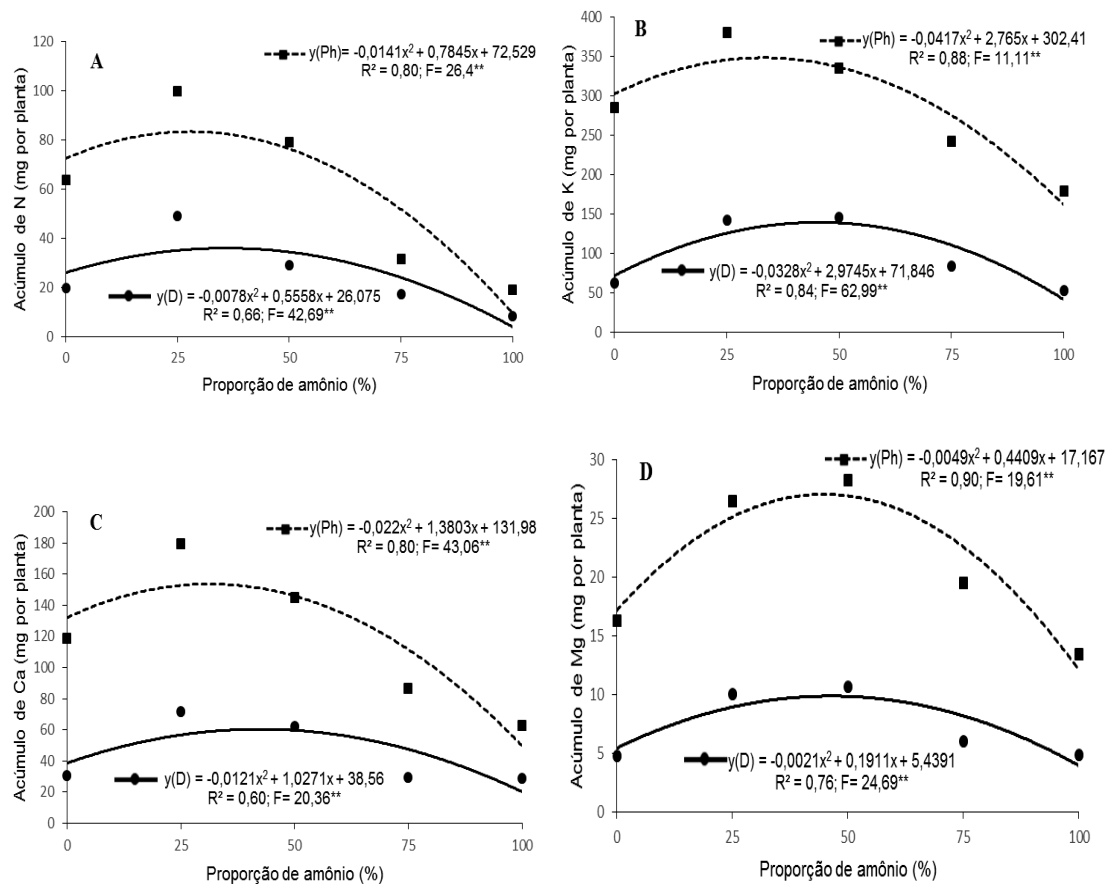


Figura 7. Acúmulo de N (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) na parte aérea de *Phalaenopsis* Golden Peoker (*Ph*) e *Dendrobium* Valentine (*D*) em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O aumento da concentração de amônio na solução nutritiva incrementou e depois diminuiu o acúmulo de Ca atingindo o ponto de máximo na proporção de amônio igual a 31% e 42% para *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente (Figura 7C).

As duas espécies de orquídeas fertilizadas com excesso de amônio induziram diminuição do acúmulo de cátions, fato relatado para o K (HOOPEN et al., 2010; HESS et al., 2006) e Ca (SIDDIQI et al., 2002).

Da mesma forma, o máximo acúmulo de Mg foi atingido com as proporções de amônio igual a 45% e 46% para *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente (Figura 7D).

Esse desbalanço iônico ocorre em razão do aumento do influxo de NH_4^+ e de efluxo de cátions na membrana plasmática, havendo extrusão destes íons para o vacúolo celular, o que foi comprovado com o aumento do vazamento de eletrólitos, podendo causar sintomas de deficiências nutricionais às plantas (MENDONZA-VILLAREAL et al., 2015).

A eficiência de absorção de N diminuiu linearmente e a eficiência de utilização de N apresentou incremento de forma quadrática em *Phalaenopsis* atingindo ponto de máximo com a proporção de 38% de amônio. Já em *Dendrobium*, a eficiência de absorção e de utilização de N apresentaram incremento de forma quadrática com o aumento das proporções de amônio, atingindo ponto de máximo com as proporções de 38% e 65% de amônio respectivamente (Figura 8A e 8B).

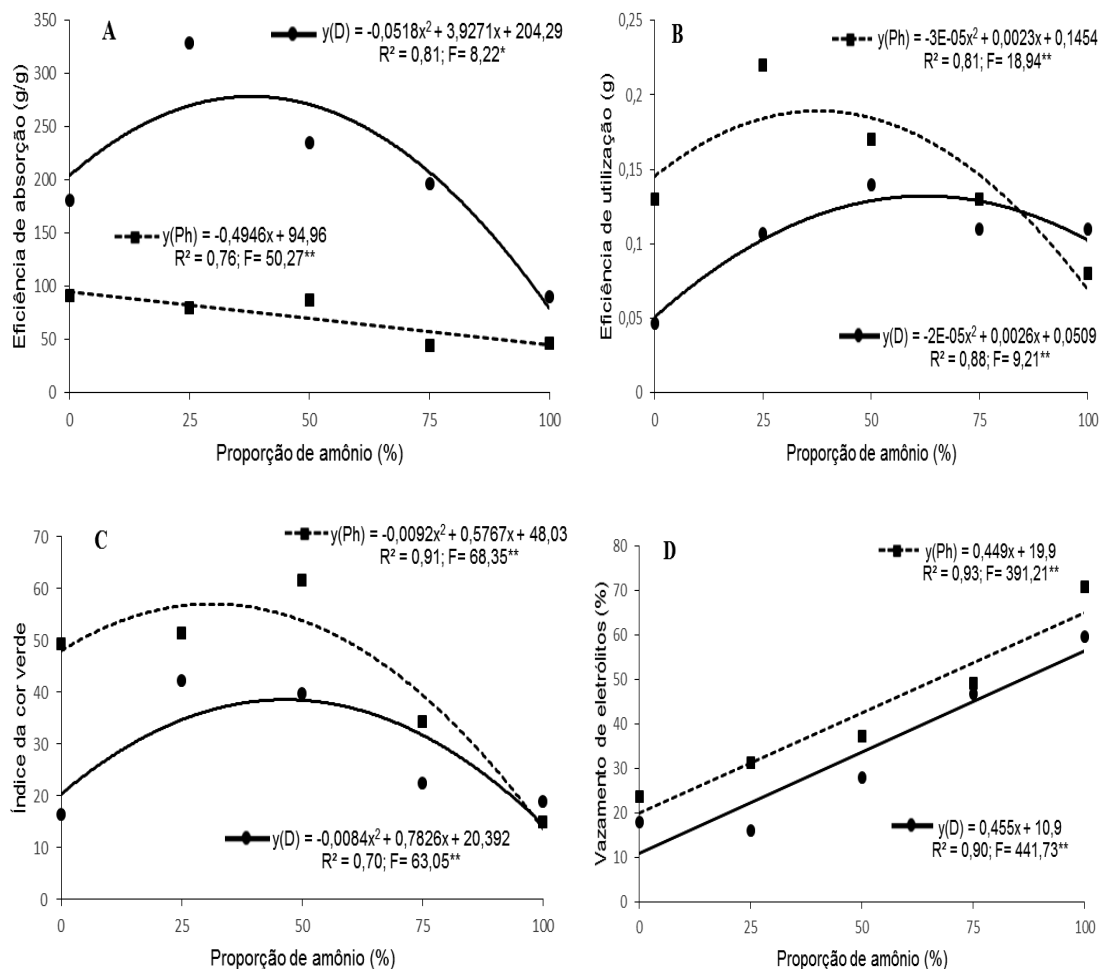


Figura 8. Eficiência de absorção de N (g/g) (A), eficiência de utilização de N (g) (B), índice da cor verde (C) e vazamento de eletrólitos das folhas (%) (D) de

Phalaenopsis Golden Peoker (*Ph*) e *Dendrobium* Valentine (*D*) em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.

O excesso de NH_4^+ provocou diminuição da eficiência de absorção de N pelas orquídeas provavelmente pelos danos causados no sistema radicular que refletiu em prejuízo no acúmulo do nutriente na planta. Já a diminuição da eficiência de utilização de N na parte aérea foi devido ao excesso de amônio na solução nutritiva causando elevado acúmulo desse cátion nos cloroplastos, podendo bloquear o metabolismo do complexo enzimático GS-GOGAT, responsável pela assimilação de N pelas plantas (BITTSÁNSZKY et al., 2015).

Em *Phalaenopsis* o maior índice da cor verde foi com a proporção de 31% de amônio; e em *Dendrobium* o maior índice da cor verde foi com a proporção de 46% de amônio (Figura 8C).

O vazamento de eletrólitos aumentou linearmente com o aumento das proporções de amônio nas duas orquídeas estudadas (Figura 8D). Isso ocorreu devido ao excesso de amônio causar alterações de várias reações metabólicas, induzindo aumento no conteúdo de espécies reativas de oxigênio, O_2 e H_2O_2 , que podem causar peroxidação oxidativa, diminuindo os teores de clorofilas *a* e *b* (JAMPEETONG; BRIX; KANTAWANICHKUL, 2012), e como resultado dessas reações, as folhas apresentaram menor índice de cor verde (LI et al., 2014; PRADO, 2008).

4.2.2 Efeito do amônio no crescimento e no desenvolvimento

O aumento da concentração de amônio na solução nutritiva em *Phalaenopsis* Golden Peoker (Figura 9) e em *Dendrobium* Valentine (Figura 10) promoveu incremento de forma quadrática nas variáveis vegetativas estudadas até atingirem o ponto de máximo.

Em *Phalaenopsis* Golden Peoker foram verificadas a maior largura da planta (31 cm) com a proporção de 41% de amônio; o maior diâmetro do caule (15 mm) com a proporção de 33% de amônio, maior número de folhas (6) com a proporção de 36%

de amônio e a maior matéria seca (4,9 g) com a proporção de 35% de amônio (Figura 9: A, B, C e D).

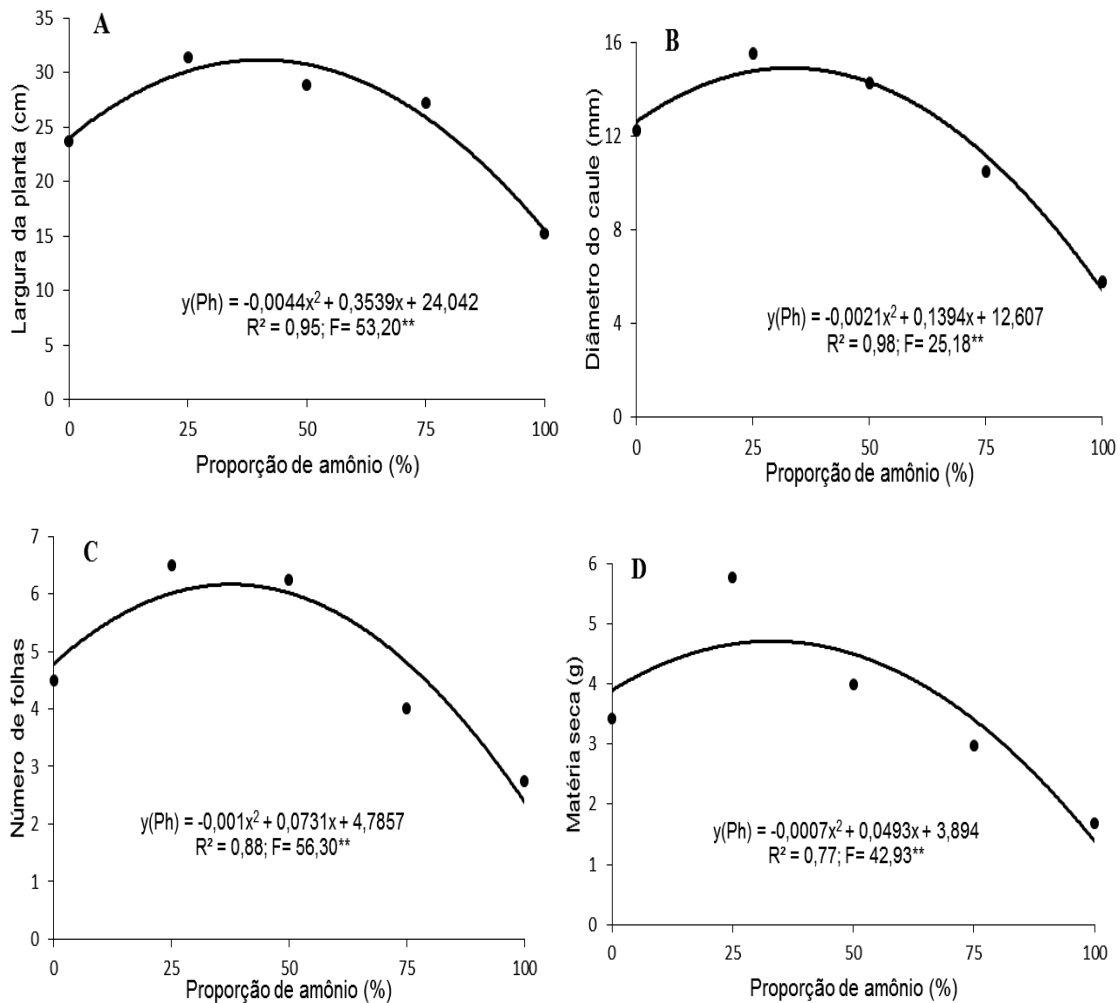


Figura 9. Largura da planta (A), diâmetro do caule (B), número de folhas (C), e matéria seca total (D) de *Phalaenopsis* Golden Pecker em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; NS não significativo pelo teste F.

Em *Dendrobium* Valentine foram verificadas as plantas mais altas (22cm) com a proporção de 44% de amônio; o maior diâmetro do pseudobulbo (9 mm) e o maior número médio de pseudobulbos (3,6) com a proporção de 44% de amônio e a maior matéria seca (2,3 g) com a proporção de 50% de amônio. Portanto, *Dendrobium* Valentine é mais tolerante ao amônio como fonte de N do que *Phalaenopsis* Golden Pecker (Figura 10: A, B, C e D).

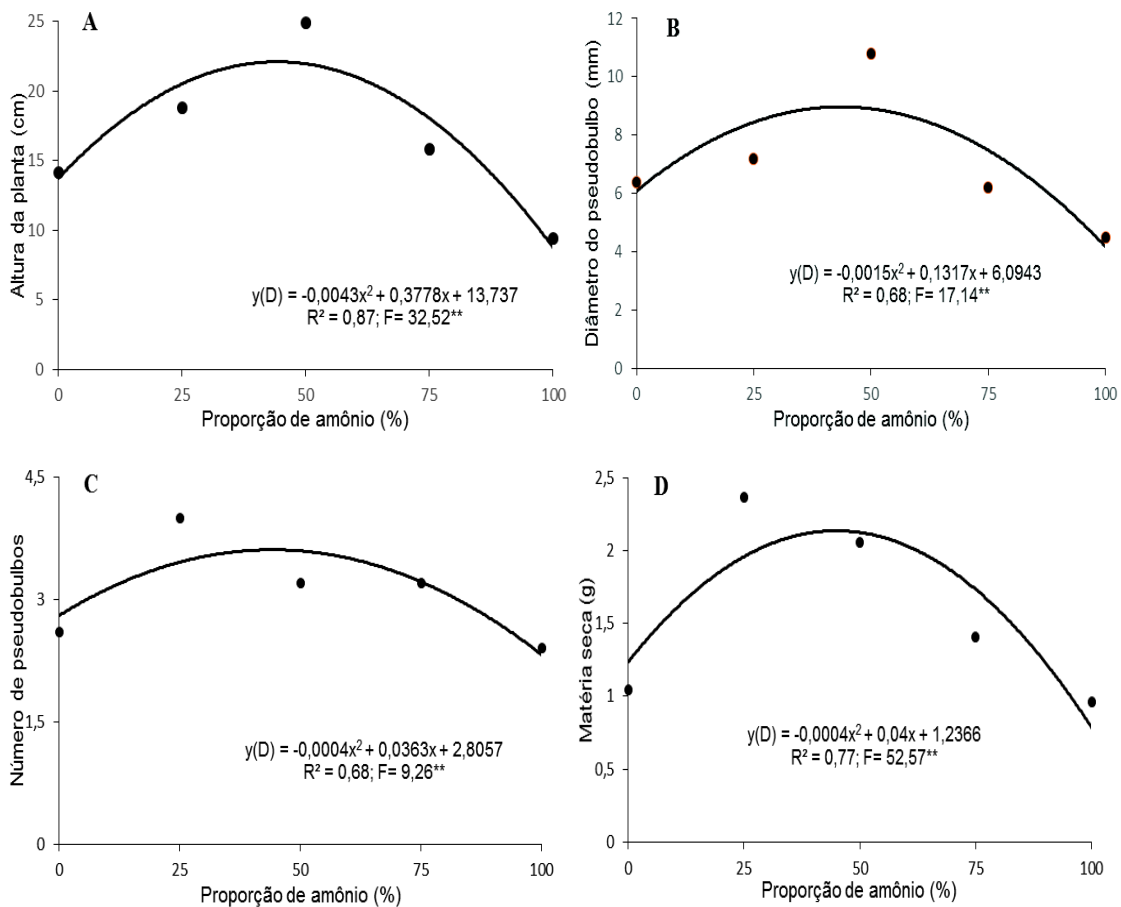


Figura 10. Altura da planta (A), diâmetro do pseudobulbo (B), número de pseudobulbos (C), e matéria seca total (D) de *Dendrobium Valentine* em função de proporções crescentes de amônio (%) em relação a nitrato, após 12 meses do início da aplicação dos tratamentos. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ^{NS} não significativo pelo teste F.

A combinação de nitrato e amônio atenua a toxicidade de amônio em muitas espécies (BRITTO; KRONZUCKER, 2002), com isso as orquídeas cresceram melhor nos tratamentos com equilíbrio entre estas fontes de N corroborando com os resultados obtidos por Ruamrungsri et al. (2014) em *Dendrobium Sonia* 'Ear Sakul', por Wang (2008) em *Phalaenopsis* e por Pienaar e Combrink, (2007) em *Cymbidium*.

Com a proporção de até 57% de amônio não ocorreu toxidez em *Phalaenopsis*, já em *Dendrobium* o mesmo é verificado com a proporção de até 74%, reforçando a maior tolerância deste gênero de orquídea ao N amoniacal.

Os resultados indicaram tendência de maior acúmulo de matéria seca nas orquídeas, associado a diminuição da concentração de amônio na solução, semelhante aos resultados de outros trabalhos (WARREN; ADAMS, 2002; ROTHSTEIN; CREGG, 2005; HACHIYA; TERASHIMA; NOGUCHI, 2007), os quais revelaram melhor crescimento das plantas em misturas de nitrato e amônio. De acordo com Bijlsma et al. (2000), a assimilação simultânea de NO_3^- e NH_4^+ pelas raízes tem uma melhor relação custo/benefício do que a assimilação de uma única fonte de N, ou seja, maior assimilação de N a um menor custo de carbono por mol de N absorvido.

Segundo Liu et al. (2009), a maior capacidade de produção de biomassa serve como um indicador para avaliar a capacidade de síntese de carboidratos. As raízes de plantas fertilizadas apenas com NH_4^+ têm altas demandas de esqueleto de carbono para a assimilação de amônio (ARNOZIS et al., 1988) e alto consumo de O_2 (MATSUMOTO; TAMURA, 1981), resultando em baixa concentração de açúcar nas raízes e menor crescimento das plantas o que justifica o menor tamanho e matéria seca das plantas fertilizadas somente com NH_4^+ .

O efeito do amônio causando prejuízos sobre variáveis de crescimento das plantas, especialmente na largura da planta e diâmetro do caule de *Phalaenopsis*, também foi verificado em plantas de *Phalaenopsis* Blume x Taisuco Kochdian (WANG, 2008), *Eustoma grandiflorum* (MENDOZA-VILLAREAL et al., 2015) e de *Solanum lycopersicum* (BORGOGNONE et al., 2013).

Esse prejuízo no crescimento das orquídeas em resposta à aplicação de amônio (Apêndice C e D), como exclusiva fonte de N tem sido atribuída principalmente aos efeitos tóxicos do amônio livre (IVANOVA; STADEN, 2009). A nutrição nitrogenada exclusivamente com amônio direciona a um excesso de absorção de carga catiônica, que deve ser equilibrada por um aumento do efluxo de H^+ (SMITH; RAVEN, 1979; HACHIYA et al., 2012).

5 CONCLUSÃO

O efeito benéfico do Si ocorre com a aplicação de 27 e 16 mmol L⁻¹ de Si (silicato de potássio e ácido monossilícico) para *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente.

A aplicação de Si em concentrações maiores do que 39 e 18 mmol L⁻¹ nas orquídeas *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente, durante 18 meses consecutivos provocou toxidez de Si nas plantas sem alterar o vazamento de eletrólitos.

Para o máximo crescimento e adequada nutrição das orquídeas, a solução nutritiva deve ter no máximo 39% e 49% de amônio para *Phalaenopsis* e *Dendrobium*, respectivamente.

A toxidez de amônio difere entre os gêneros de orquídeas, sendo a *Phalaenopsis* mais sensível ao amônio do que *Dendrobium*.

6 REFERÊNCIAS

- ALI, S.; FAROOQ, M. A.; YASMEEN, T.; HUSSAIN, S.; ARIF, M. S.; ABBAS, F.; BHARWANA, S. A.; ZHANG, G. The influence of silicon on barley growth, photosynthesis and ultra-structure under chromium stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Maryland Heights, v. 89, n. 1, p. 66–72, 2013.
- AMARAL, T. L.; JASMIM, J. M.; ARAÚJO, J. S. D. P.; THIÉBAUT, J. T. L.; COELHO, F. C.; FREITAS, C. B. D. Adubação de orquídeas em substratos com fibra de coco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 11-19, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100001>>. Acesso em: 21 set. 2016.
- ANTHURA, B. Y. **Cultivation guide *Phalaenopsis* knowledge for professionals**. Bleiswijk: Anthura, 2005. 176 p.
- ARDITTI, J. **Fundamentals of orchid biology**. New York: John Wiley & Sons, 1992. 691 p.
- ARDITTI, J.; ERNEST, R. **Micropropagation of orchids**. New York: John Wiley, 1993. 682 p.
- ARNOZIS, P. A.; NELEMANS, J. A.; FINDENEGG, G. R. Phosphoenolpyruvate carboxylase activity in plants grown with either NO₃⁻ or NH₄⁺ as inorganic nitrogen source. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 132, p. 23-27, 1988.
- ÁVILA, F. W.; BALIZA, D. P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J. L. RAMOS, S. J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 184-190, 2010.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. R. W. **AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Versão 1.1.0.711. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BIJLSMA, R. J.; LAMBERS, H.; KOOIJMAN, S. A. L. M. A dynamic whole-plant model of integrated metabolism of nitrogen and carbon. 1. Comparative ecological implications of ammonium-nitrate interactions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 220, p. 49-69, 2000.
- BITTSÁNSZKY, A.; PILINSZKY, K.; GYULAI, G.; KOMIVES, T. Overcoming ammonium toxicity. **Plant Science**, Shannon, v. 231, p. 184-190, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.005>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 61-69, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.012>>. Acesso em: 21 set. 2016.

BOTELHO, D. M. S.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 6, p. 582-588, 2005.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 159, p. 567–584. 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-0774>>. Acesso em: 2 jan. 2017.

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; WYLER, P. Silicate fertilization of sugarcane cultivated in tropical soils. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 167, p. 64-75, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2014.07.009>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

CAMPOS, C. N. S. **Silício e excesso de amônio e de nitrato em plantas de cana-de-açúcar e de pepino**. 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CAMPOS, C. N. S.; PRADO, R. M.; CAIONE, G.; DE LIMA NETO, A. J.; MINGOTTE, F. A. L. C. Silicon and excess ammonium and nitrate in cucumber plants. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 11, n. 4, p. 276-283, 2016.

CARDOSO, J. C. *Dendrobium* ‘Brazilian Fire 101’ - New option of color of flowers for the orchid market. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 561-564, 2012.

CARRIGAN, L.; FREY, K. J. Root volumes of Avena species. **Crop Science**, Madison, v. 20, p. 407-408, 1980. Disponível em: <[doi:10.2135/cropsci1980.0011183X002000030034x](https://doi.org/10.2135/cropsci1980.0011183X002000030034x)>. Acesso em: 26 jan. 2016.

CARVALHO, P. R.; FARIA, R. T.; FONSECA, I. C. B.; JUNIOR, O. A. "Efeito do silício na qualidade de flores de *Dendrobium nobile* (Orchidaceae). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1615-1622. 2013.

CHEN, W.; LOU, J. K.; SHEN, Q. R. Effect of NH_4^+ -N/ NO_3^- -N ratios on growth and some physiological parameters of chinese cabbage cultivars. **Pedosphere**, Nanjing, v. 15, p. 310–318. 2005.

CHEN, J.; CLADWELL, R. D.; ROBINSON, C. A.; STEINKAMP, R. Let's put the Si back into soil—Part II. **Greenhouse Product News**, DesPlaines, v. 11, p. 44–47, 2001.

CHUGH, S.; GUHA, S.; RAO, U. Micropropagation of orchid: a review on the potential of different explants. **Scientia Horticulture**, Amsterdam, v. 122, n. 4, p. 507-520, 2009.

CRUZ, C.; DOMÍNGUEZ-VALDIVIA, M. D.; APARICIO-TEJO, P. M.; LAMSFUS, C.; BIO, A.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; MORAN, J. F. Intra-specific variation in pea responses to ammonium nutrition leads to different degrees of tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 70, n. 2-3, p. 233-243. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.09.014>>. Acesso em: 30 jan. 2016.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture. Studies in plant science**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 403 p.

DEMATTE, J. B.; DEMATTE, M. E. S. P. Estudos hídricos com substratos vegetais para o cultivo de orquídeas epífitas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 11, p. 803-808, 1996.

DIONISIO-SESE, M. L.; TOBITA, S. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. **Plant Science**, Shannon, v. 135, p. 1-9, 1998.

DONG, C. X.; SHEN, Q. R.; WANG, G. Tomato growth and organic acid changes in response to partial replacement of NO_3^- -N by NH_4^+ -N. **Pedosphere**, Nanjing, v. 14, p. 159-164. 2004.

DRESSLER, R. L. How many orchid species? **Selbyana**, Sarasoto, v. 26, p. 155-158, 2005.

DRESSLER, R. L. **Phylogeny and classification of the orchid family**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 314 p.

DUAN, X.; TANG, M.; WANG, W. Effects of silicon on physiology and biochemistry of *Dendrobium moniliforme* plantlets under cold stress. **Agricultural Biotechnology**, Craston, v. 2, n. 3, p. 18-21, 2013.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**, 2nd ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2005.

ESTEBAN, R.; ARIZ, I.; CRUZ, C.; MORAN, J. F. Review: Mechanisms of ammonium toxicity and the quest for tolerance. **Plant Science**, Shannon, v. 248, p. 92-101, 2016.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 p. Tese (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FERREIRA, W. M.; SUZUKI, R. M. O cultivo *in vitro* de orquídeas como alternativa para a preservação de espécies nativas ameaçadas de extinção. In: LOIOLA, M. I. B.; BASEI, I. G.; LICHSTON, A. J. E. (Org.). **Atualidades, desafios e perspectiva da botânica no Brasil**. Natal: SBB, 2008. p. 67-68.

FLECK, A. T.; SCHULZE, S.; HINRICHS, M.; SPECHT, A.; WAßMANN, F.; SCHREIBER, L.; SCHENK, M. K. Silicon promotes exodermal casparian band formation in Si-accumulating and Si-excluding species by forming phenol complexes. **PloS one**, San Francisco, v. 10, n. 9, e0138555, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0138555>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

FLORAHOLLAND. 2013. Prijsinformatie FloraHolland week 30. 17 Sept. 2013. Disponível em: <<http://www.floraholland.com/media/1773468/Prijsinformatieweek30.PDF>>. Acesso em: 22 maio 2015.

FRIDOVICH, I. Biological effects of the superoxide radical. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, Maryland Heights, v. 247, n. 1, p. 1-11, 1986.

GUO, W. J.; LIN, Y. Z.; LEE, N. Photosynthetic light requirements and effects of low irradiance and daylength on *Phalaenopsis amabilis*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 137, n. 6, p. 465-472, 2012.

HACHIYA, T.; TERASHIMA, I.; NOGUCHI, K. Increase in respiratory cost at high growth temperature is attributed to high protein turnover cost in *Petunia x hybrida* petals. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 30, n. 10, p. 1269-1283, 2007.

HACHIYA, T.; WATANABE, C. K.; FUJIMOTO, M.; ISHIKAWA, T.; TAKAHARA, K.; KAWAI-YAMADA, M.; NOGUCHI, K. Nitrate addition alleviates ammonium toxicity without lessening ammonium accumulation, organic acid depletion and inorganic cation depletion in *Arabidopsis thaliana* shoots. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 53, n. 3, p. 577-591, 2012.

HENRIET, C.; DRAYE, X.; OPPITZ, I.; SWENNEN, R.; DELVAUX, B. Effects, distribution and uptake of silicon in banana (*Musa spp.*) under controlled conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 287, n. 1, p. 359-374, 2006.

HESS, D. C.; LU, W.; RABINOWITZ, J. D.; BOTSTEIN, D. Ammonium toxicity and potassium limitation in yeast. **Public Library of Science Biology (PLOS Biology)**, San Francisco, v. 4, n. 11, p. 351-355, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0040351>>. Acesso em: 9 jun. 2016.

HEW, C. S.; YONG, J. W. H. **The physiology of tropical orchids in relation to the industry**. Singapore: World Scientific, 2004. 17 p.

HOOPEN, F.; CUIN, T. A.; PEDAS, P.; HEGELUND, J.N.; SHABALA, S.; SCHJOERRING, J. K.; JAHN, T. P. Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and *Arabidopsis* roots: molecular mechanisms and physiological consequences. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, p. 2303-2315, 2010.

HORCHANI, F.; HAJRI, R.; ASCHI-SMITI, S. Is the sensitivity to ammonium nutrition related to nitrogen accumulation? **Current Botany**, Vidyanagar, v. 2, n. 2, p. 18-22, 2011.

HUANG, L.; LU, Y.; GAO, X.; DU, G.; MA, X.; LIU, M.; GUO, J.; CHEN, Y. Ammonium-induced oxidative stress on plant growth and antioxidative response of duckweed (*Lemna minor* L.) **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 58, p. 355-362, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.031>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

ISHIKAWA, S.; ANDO, S.; SAKAIGAICHI, T.; TERAJIMA, Y.; MATSUOKA, M. Effects of high nitrogen application on the dry matter yield, nitrogen content and nitrate-N concentration of sugarcane. **Soil Science and Plant Nutrition**, Singapore, v. 55, n. 4, p. 485-495, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00381.x>>. Acesso em: 4 jun. 2016.

IVANOVA, M.; STADEN, J. V. Nitrogen source, concentration, and $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio influence shoot regeneration and hyperhydricity in tissue cultured *Aloe polyphylla*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 99, n. 2, p. 167-174, 2009.

JAMPEETONG, A.; BRIX, H.; KANTAWANICHKUL, S. Effects of inorganic nitrogen forms on growth, morphology, nitrogen uptake capacity and nutrient allocation of four tropical aquatic macrophytes (*Salvinia cucullata*, *Ipomoea aquatica*, *Cyperus involucratus* and *Vetiveria zizanioides*). **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 10-16, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.10.004>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

JIAO-JING, L.; SHAO-HANG, L.; PEI-LEI, X.; XIU-JUAN, W.; JI-GANG, B. Effects of Exogenous Silicon on the Activities of Antioxidant Enzymes and Lipid Peroxidation in Chilling-Stressed Cucumber Leaves. **Agricultural Sciences in China**, Beijing, v. 8, n. 9, p. 1075-1086, 2009. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927\(08\)60315-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60315-6)>. Acesso em: 10 jan. 2017.

JÚNIOR, L. A. Z.; ALVAREZ, V. H.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; FONTES, R. L. F.; GROSSI, J. A. S. Produção de rosas influenciada pela aplicação de doses de silício no substrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1611-1619, 2013.

JÚNIOR, S. **Relação amônio e nitrato, mitigação da toxicidade amoniacal com silício e curva de acúmulo de nutrientes em mudas de maracujazeiro**. 2015. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T. J.; MAREK, S. Evaluation of silicon as a nutritional supplement for greenhouse *Zinnia* production. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 119, n. 3, p. 297-301, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.012>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

KAMENIDOU, S.; CAVINS, T. J.; MAREK, S. Silicon supplements affect floricultural quality traits and elemental nutrient concentrations of greenhouse produced gerbera. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, p. 390–394, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.012>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

KIYUNA I.; FRANCISCO, V. L. F. S.; COELHO, P. J.; CASER, D. V.; ASSUMPÇÃO, R. D.; ÂNGELO, J. A. Floricultura brasileira no início do século XXI: o perfil do produtor. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, p. 14-31, 2004.

KOCHANOVÁ, Z.; JAŠKOVÁ, K.; SEDLÁKOVÁ, B.; LUXOVÁ, M. Silicon improves salinity tolerance and affects ammonia assimilation in maize roots. **Biologia**, Berlim, v. 9, n. 69, p. 1164-1171. 2014.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU, 2004. 23 p. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. (Boletim Técnico, 2).

LAVARACK, B.; LAVARACK, P. S.; HARRIS, W.; STOCKER, G. **Dendrobium and its Relatives**. Portland: Timber Press, 2006. 287 p.

LEI, H. Y. **Changes of mineral composition and fertilizer requirement of Phalaenopsis during reproductive stages**. 2007. Tese (Mestrado em Agronomia) - National Taiwan University, Taipei, 2007.

LI, B.; LI, G.; KRONZUCKER, H. J.; BALUSKA, F.; SHI, W. Ammonium stress in Arabidopsis: signaling, genetic loci, and physiological targets. **Trends in Plant Science**, Kidlington, v. 19, n. 2, p. 107-114, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2013.09.004>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

LIU, X. J.; XU, Z. S.; ZHANG, N. N. Effects of different culture media on the growth of Indian sandalwood (*Santalum album* L.) seedlings in Zhanjiang, Guangdong, southern China. **Forestry Studies in China**, Beijing, v. 11, n. 2, p. 132-138, 2009.

LOOTENS, P.; HEURSEL, J. Irradiance, temperature and carbon dioxide enrichment affect photosynthesis in Phalaenopsis hybrids. **HortScience**, St. Joseph, v. 33, n. 7, p. 1183–1185, 1998.

LORENZI, H., SOUZA, H. **Plantas ornamentais no Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2001. 1088 p.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 3, p. 295-300, 2006.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Singapore, v. 50, n. 1, p. 11-18, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/00380768.2004.10408447>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

MANTOVANI, C.; PRADO, R. M.; PIVETTA, K. F. L.; Foliar diagnosis in *Phalaenopsis* orchid plants subjected to application of nitrogen. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 10, n. 53, p. 4906-4912, 2015.

MARCUSSI, S. A. **Escória de siderurgia como material corretivo e fonte de silício para a cultura do milho no estado de São Paulo**. 2010. 90f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2010.

MARSCHNER, H. Nutritional physiology. In: _____ Mineral nutrition of higher plants. (Ed). London: Academic Press Limited, 1995. p. 18-30; 313-63.

MATEOS-NARANJO, E.; ANDRADES-MORENO, L.; DAVY, A. J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 63, n. 1, p. 115-121, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi: 10.1016/j.plaphy.2012.11.015>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

MATSUMOTO, H.; TAMURA, K. Respiratory stress in cucumber roots treated with ammonium or nitrate nitrogen. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 60, n. 2, p. 195– 204, 1981.

MCWILLIAMS, E. L. Comparative rates of dark CO₂ uptake and acidification in Bromeliaceae, Orchidaceae and Euphorbiaceae. **Botanical Gazette**, Hanover, v. 131, n. 4, p. 285–290, 1970.

MENDOZA-VILLARREAL, R.; VALDEZ-AGUILAR, L. A.; SANDOVAL RANGEL, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; BENAVIDES-MENDOZA, A. Tolerance of *Lisianthus* to high ammonium levels in rockwool culture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 38, n. 1, p. 73-82, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904167.2014.920379>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

MILES, K. Growing oncidium equitant. **Bulletin of the American. Orchidean Society**, New York, v. 51, p. 155-169, 1982.

NAIK, S. K.; USH, T.; ARATHI, D. B.; DEVADAS, R.; PAL, R.; MEDHI, R. P. Status of mineral nutrition of orchid - a review. **Journal of Ornamental Horticulture**, New Delhi, v. 12, n. 1, p. 1-14, 2009.

NAIR, U. S.; RAJEEVAN, P. K.; VASALAKUMARI, P. K.; SOBHANA, A. Backbulb as a source of nutrients for developing shoots in *Dendrobium*. In: NATIONAL SYMPOSIUM ON INDIAN FLORICULTURE IN THE NEW MILLENIUM, 2002, New Delhi. **Proceedings...** IARI, New Delhi: Indian Society of Ornamental Horticulture, 2002.

NETO, A. E. F.; BOLDRIN, K. V. F.; MATTSON, N. S. Nutrition and Quality in Ornamental Plants. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n. 2, p. 139-150, 2015.

NG, C. K. Y.; HEW, C. S. Orchid pseudobulbs—false'bulbs with a genuine importance in orchid growth and survival. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 83, n. 3, p. 165-172, 2000. Disponível em:<[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00084-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00084-9)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, D. T. Nutrição e fertilização de orquídeas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BOTÂNICA, 2004, Viçosa, MG. **Palestras e Mesas Redondas...** Viçosa: Sociedade Botânica do Brasil, 2004. 1 CDROM.

OLIVEIRA, J. T.; CAMPOS, V. B.; CHAVES, L. H.; GUEDES FILHO, D. H. Crescimento de cultivares de girassol ornamental influenciado por doses de silício no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 12, p. 123-128, 2013.

OTA, K.; MORIOKA, K.; YAMANOTO, Y. Effects of leaf age, inflorescence, temperature, light intensity and moisture conditions on CAM photosynthesis in *Phalaenopsis*. **Journal of the Japanese Society Horticulture Science**, Tokyo, v. 60, p. 125-132, 1991.

PIENAAR, D.; COMBRINK, N. J. J. The effects of N-source, shading and root zone cooling on two *Disa* hybrids. **South African Journal of Plant and Soil**, Pretoria, v. 24, n. 3, p. 166-171, 2007. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1080/02571862.2007.10634801>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

PRADO, R. M. Nitrogênio. In:_____. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2008. p. 83-120.

PRIDGEON, A. **The illustrated encyclopedic of orchids**. Austrália: Lansdwone Publishing Pty Ltd., 2001. 304 p.

RADOMSKI, M. I. **Teores foliares de silício, taninos e lignina, em *Maytenus ilicifolia* Martius ex Reiss. (espinheira-santa), em função de variáveis ambientais e genéticas**. 2006. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

RAHAYU, S. 1980. Absorption and transport of phosphorous through *Phalaenopsis* leaf and root. In: **Proceedings III ASEAN Orchid Congress**. Malaysia, 1980. p. 37-48.

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. The influence of silicone on components of resistance of anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 124, n. 3, p. 533-541, 2009.

REYNOLDS, O. L.; KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Silicon-augmented resistance of plants to herbivorous insects: a review. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v. 155, p. 171-186, 2009.

ROBERTS, D. L.; DIXON, K. W. Orchids. **Current Biology**, London, v. 18, n. 8, p. 325-329, 2008.

ROCHA, L. C. M.; PRADO, R. M.; ALMEIDA, T. B. F. Efeito residual da escória de siderurgia como fonte de silício para cultura do sorgo. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 18, n. 2, p. 101-115, 2011.

RODRIGUES, D. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; DIAS, J. M. M.; VILLANI, E. M. A. Orchid growth and nutrition in response to mineral and organic fertilizers. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1609-1616, 2010.

ROOSTA, H. R.; SAJJADINIA, A.; RAHIMI, A.; SCHJOERRING, J. K. Responses of cucumber plant to NH_4^+ and NO_3^- nutrition: the relative addition rate technique vs. cultivation at constant nitrogen concentration. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 121, n. 4, p. 397-403, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.03.004>>. Acesso em: 21 set. 2016.

ROTHSTEIN, D. E.; CREGG, B. M. Effects of nitrogen form on nutrient uptake and physiology of Fraser fir (*Abies fraseri*). **Forest Ecology and Management**, v. 219, n. 1, p. 69-80, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.043>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

RUAMRUNGSRI, S.; KHUANKAEW, T.; OHYAMA, T.; SATO, T. Nitrogen Sources and its Uptake in Dendrobium Orchid by ^{15}N Tracer Study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ORCHIDS AND ORNAMENTAL PLANTS, 2014, Leuven. **Proceedings...** Leuven: International Society for Horticultural Science, 2014. v. 1025, p. 207-211.

SARASKETA, A.; GONZÁLEZ-MORO, M. B.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; MARINO, D. Exploring ammonium tolerance in a large panel of *Arabidopsis thaliana* natural accessions. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 65, n. 20, p. 6023-6033, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jxb/eru342>>. Acesso em: 19 fev. 2016.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 1, p. 231-233, 1975.

SCHALLER, J.; BRACKHAGE, C.; GESSNER, M. O.; BÄUKER, E.; GERTDUDEL, E. Silicon supply modifies C: N: P stoichiometry and growth of *Phragmites australis*. **Plant Biology**, West Sussex, v. 14, n. 2, p. 392-396, 2012.

SCHELPE, S.; STEWART, J. **Dendrobiums**: an introduction to the species in cultivation. Stour Provost: Orchid Sundries, 1990.

SCHOELYNCK, J.; BAL, K.; BACKX, H.; OKRUSZKO, T.; MEIRE, P.; STRUYF, E. Silica uptake in aquatic and wetland macrophytes: a strategic choice between silica, lignin and cellulose? **New Phytologist**, West Sussex, v. 186, n. 2, p. 385-391, 2010.

SHEN, Q. R.; TANG, L.; XU, Y. C. A review on the behavior of nitrate in vacuoles of plants. **Acta Pedologica Sinica**, Kunming, v. 40, p. 465-470, 2003.

SHI, Y.; WANG, Y.; FLOWERS, T. J.; GONG, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 170, n. 9, p. 847-853, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.018>>. Acesso em: 21 set. 2016.

SIDDIQI, M. Y.; MALHOTRA, B.; MIN, X.; GLASS, A. D. M. Effects of ammonium and inorganic carbon enrichment on growth and yield of a hydroponic tomato crop. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 165, n. 2, p. 191-197, 2002.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, E. F. **Multiplicação e crescimento *in vitro* de orquídeas *Brassiocatleya Pastoral X Laeliocattleya Amber Glow***. 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SILVA, D.; QUEIROZ, A. D. **Análise de alimentos**: (métodos químicos e biológicos). 3. ed. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ, 2002. 235 p.

SILVA, P. C. C.; COUTO, J. L.; SANTOS, A. R. Efeito dos íons amônio e nitrato no desenvolvimento do girassol em solução nutritiva. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 17, n. 1, p. 104-114, 2010.

SIVANESAN, I.; PARK, S. W. The role of silicon in plant tissue culture. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 5, p. 571, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00571>>. Acesso em: 2 jun. 2016.

SIVANESAN, I.; SON, M. S.; SOUNDARARAJAN, P.; JEONG, B. R. Growth of Chrysanthemum Cultivars as Affected by Silicon Source and Application Method. **Kor. Journal of Horticultural Science Technology**, Suweon, v. 31, n. 5, p. 544-551, 2013.

SMITH, F. A.; RAVEN, J. A. Intracellular pH and its regulation. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 30, n. 1, p. 289-311, 1979.

SOARES, J. D. R.; PASQUAL, M.; RODRIGUES, F. A.; VILLA, F.; CARVALHO, J. D. Adubação com silício via foliar na aclimatização de um híbrido de orquídea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 626-629, 2008.

SOUNDARARAJAN, P.; SIVANESAN, I.; JANA, S.; JEONG, B. R. Influence of silicon supplementation on the growth and tolerance to high temperature in *Salvia splendens*. **Horticulture, Environment and Biotechnology**, New York, v. 55, n. 4, p. 271-279, 2014.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II. 2. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. p. 114-138.

SOYLEMEZOGLU, G.; DEMIR, K.; INAL, A.; GUNES, A. Effect of silicon on antioxidant and stomatal response of two grapevine (*Vitis vinifera* L.) rootstocks grown in boron toxic, saline and boron toxic-saline soil. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, n. 2, p. 240-246, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.005>>. Acesso em: 11 jan. 2016.

SUSILO, H.; CHANG, Y. C. A. Nitrogen source for inflorescence development in *Phalaenopsis*: II. Effect of reduced fertilizer level on stored nitrogen use. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 139, n. 1, p. 76-82, 2014.

SUTTLEWORTH, F. S.; ZIM, H. S.; DILLON, G. W. **Orquídeas**: guia dos orquidófilos. 5. ed. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1997. p. 158.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364840>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

TAKANE, R. J.; YANAGISAWA, S. S. **Cultivo moderno de orquídeas: Phalaenopsis**. São Paulo: Cantareira, 2007. 130 p.

TAKANE, R. J.; YANAGISAWA, S. S.; PIVETTA, K. F. L. **Cultivo moderno de orquídeas Cattleya e seus híbridos**. Fortaleza: Graf House, 2010. 179 p.

TEIXEIRA DA SILVA, J. Orchids: advances in tissue culture, genetics, phytochemistry and Transgenic biotechnology. **Floriculture Ornamental Biotechnology**, Isleworth, v. 7, n. 1, p. 1-52, 2013.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, R. P.; SILVA, A. G.; KORNDÖRFER, P. H. Fontes de silício em cultivares de feijão nas safras das águas e da seca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 562-568, 2008.

VENDRAME, W. A.; PALMATEER, A. J.; PINARES, A.; MOORE, K. A.; DATNOFF, L. E. Silicon fertilization affects growth of hybrid *Phalaenopsis* orchid liners. **HortTechnology**, Alexandria, v. 20, n. 3, p. 603-607, 2010.

WANG, Y. T. Medium and fertilization affect performance of potted *Dendrobium* and *Phalaenopsis*. **HortTechnology**, Alexandria, v. 5, n. 3, p. 237-237, 1995.

WANG, Y. T. High NO₃-N to NH₄-N ratios promote growth and flowering of a hybrid *Phalaenopsis* grown in two root substrates. **Hortscience**, St. Joseph, v. 43, n. 2, p. 350-353, 2008.

WANG, H. Z.; FENG, S. G.; LU, J. J.; SHI, N. N.; LIU, J. J. Phylogenetic study and molecular identification of 31 *Dendrobium* species using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 3, p. 440-447, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.005>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

WARREN, C. R.; ADAMS, M. A. Possible causes of slow growth of nitrate-supplied *Pinus pinaster*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 32, n. 4, p. 569-580, 2002.

WIESE, H.; NIKOLIC, M.; ROMHELD, V. Silicon in plant nutrition - effects on zinc, manganese and boron leaf concentrations and compartmentation. In: SATTELMACHER, B.; HORST, W. J. (Ed.). **The apoplasto of higher plants: compartment of storage, transport and reactions**. London: Springer, 2007. p. 33-37.

YONEDA, K.; USUI, M.; KUBOTA, S. Effect of nutrition deficiency on growth and flowering of *Phalaenopsis*. **Journal Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v. 66, p. 141-147, 1997.

YU, Y. C. **Growth response and gene expression profiling in *Phalaenopsis* under nitrogen, phosphorus, and potassium deficiency**. 2012. Tese (Mestrado em Agronomia) - National Taiwan University, Taipei, 2012.

YU, H.; YANG, S. H.; GOH, C. J. Agrobacterium-mediated transformation of a *Dendrobium* orchid with the class 1 *knox* gene *DOH1*. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 20, n. 4, p. 301-305, 2001.

ZHAO, D.; HAO, Z.; TAO, J.; HAN, C. Silicon application enhances the mechanical strength of inflorescence stem in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 151, p. 165-172, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.013>>. Acesso em: 9 dez. 2014.

ZHOU, T. The detection of the accumulation of silicon in *Phalaenopsis* (Orchidaceae). **Annual Botany**, Londres, v. 75, n. 6, p. 605-607, 1995.

APÊNDICE



Apêndice. Foto ilustrando o excesso de Si na orquídea *Phalaenopsis Golden Peoker* (A) e *Dendrobium Valentine* (B). E o aspecto geral de *Phalaenopsis Golden Peoker* (C) e *Dendrobium Valentine* (D) após 12 meses de aplicação das proporções crescentes de amônio (0; 25; 50; 75 e 100 %).