

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

**SILÍCIO E AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE
BRÁSSICAS**

Claudio Ferreira Barreto
Eng. Agrônomo

2015

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

**SILÍCIO E AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE
BRÁSSICAS**

Claudio Ferreira Barreto

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientador: Prof. Dr. Aguinaldo José Freitas Leal

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 (Ciência do Solo).

2015

Barreto, Claudio Ferreira.
B273s Silício e amônio na nutrição e no crescimento de brássicas /
Claudio Ferreira Barreto. -- Jaboticabal, 2015
v, 29 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Renato de Mello Prado
Coorientador: Aguinaldo José Freitas Leal
Banca examinadora: Jairo Osvaldo Cazetta, Fábio Olivieri Nobile
Bibliografia

1. *Brassica oleracea*. 2. Fertilização amoniacal. 3. Elemento
benéfico. 4. Estresse nutricional. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84:635.33

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação-
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CLAUDIO FERREIRA BARRETO – Nasceu em Catolé do Rocha (PB) em 23 de janeiro de 1978. Possui graduação pela Universidade Federal de Campina Grande, concluindo em novembro de 2012. Durante a graduação, foi bolsista de extensão durante 24 meses e colaborador em projetos de pesquisas durante 12 meses, sendo também monitor da disciplina de Topografia. Em março de 2014, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista CAPES por 18 meses. Realizou atividades de estágio em docência, na disciplina de Frutíferas: Calagem, Adubação e Nutrição. Participou do Grupo de Estudos em Nutrição de Plantas da Unesp (GENPLANT), atuando como colaborador em projetos de pesquisa.

Tudo posso naquele que me fortalece.

Filipenses 4:13

A DEUS.

Ofereço.

Aos meus pais, Maria Luzeni Ferreira Barreto e Clodoaldo de Araújo Barreto, pelo incentivo aos estudos;

Ao meu filho José Augusto, meus irmãos, Nagib, Bruno, Lúcia e Nereida, pela amizade.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Finalizada uma etapa importante de minha vida, não poderia deixar de expressar o mais profundo agradecimento a todos aqueles que me apoiaram nesta longa caminhada e que contribuíram para a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Prof. Dr. Renato de Mello Prado, pelo apoio, incentivo e disponibilidade demonstrada em todas as fases da dissertação, que levaram à concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Aguinaldo José Freitas Leal, pela coorientação, que contribuiu de forma importante durante o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela oportunidade de cursar o mestrado.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo a nível de mestrado.

Aos professores José Carlos Barbosa, Arthur Bernardes Cecílio Filho, Édson Luiz Mendes Coutinho, William Natale, dentre outros, pelo conhecimento transferido ao longo do curso.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos: Cláudia, Célia, Maria Inês, Mauro e Dejair, pela atenção e auxílios.

Ao grupo de estudos em nutrição de plantas da Unesp, Genplant, que contribuiu com sugestões para a melhoria no desenvolvimento e na redação dos trabalhos durante os seminários.

Aos colegas e amigos da Unesp, pelo companheirismo, amizade e incentivo durante o curso, dentre estes: Gabriel Barbosa, Luiz Cláudio Mancha, Cid Campos, Rafael Barreto, Fábio Leal, Aléxson Dutra, Lucas Eduardo, Rodolfo Lizcano, Wallace Leite, Evandro Lemos, Sylvia Letícia, Mara Coutinho, Risely Ferraz, Débora Canuto, José Maurício, Marcelo Barbosa, Fernando Franco, Gilmara Pereira, Rodrigo Nowaki, Ana Paula Prado e Leonardo Correia, dentre outros;

Enfim, a todos aqueles que contribuíram para a realização deste sonho, expresse meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Importância das brássicas.....	3
2.2 Adubação nitrogenada em brássicas.....	5
2.3 Toxicidade de amônio em plantas.....	6
2.4 Interação do silício e nitrogênio.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
5 CONCLUSÕES.....	22
6 REFERÊNCIAS.....	23

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resumo da análise de variância e resultados médios do acúmulo de N, K, Ca, Mg e Si na matéria seca da raiz e na matéria seca e parte aérea de brócolis e repolho, em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de si, na solução nutritiva..... **11**
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância e resultados médios do índice de cor verde (ICV) fotossíntese (F), condutância estomática (CE), transpiração (T), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da raiz (MSR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), e matéria seca da parte aérea (MSPA) de brócolis e repolho, em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de si, na solução nutritiva..... **15**

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Acúmulo de N (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e Si (e) na raiz e na parte aérea (pa) de plantas de brócolis, em função de concentrações de NH_4^+ . ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 12
- Figura 2.** Acúmulo de N (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e Si (e) na raiz e na parte aérea (pa) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ . ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 14
- Figura 3.** Índice de cor verde foliar (a) e taxa de fotossíntese (b) de plantas de brócolis em função de concentrações de NH_4^+ , na presença e na ausência de Si na solução nutritiva. ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 16
- Figura 4.** Índice de cor verde foliar (a), condutância estomática (b), transpiração (c) e taxa de fotossíntese (d) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ . ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 17
- Figura 5.** Diâmetro do caule (a), área foliar (b), matéria fresca da parte aérea (MFPA) (c) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (d) de plantas de brócolis, em função de concentrações de NH_4^+ , na presença e na ausência de Si na solução nutritiva. *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 18
- Figura 6.** Diâmetro do caule (a), área foliar (b), matéria fresca da parte aérea (MFPA) (c), e matéria seca da parte aérea (MSPA) (d) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de Si e média dos resultados. ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F..... 20
- Figura 7.** Sintomas de excesso de amônio na planta de brócolis que se inicia com pontos cloróticos no limbo foliar (a), evoluindo para clorose das folhas velhas (b) e na planta de repolho se inicia com perda de turgidez da folha (c), evoluindo para clorose e necrose acentuada em um dos lados das folhas mais velhas (d)..... 21

SILÍCIO E AMÔNIO NA NUTRIÇÃO E NO CRESCIMENTO DE BRÁSSICAS

RESUMO – A resposta das brássicas ao nitrogênio amoniacal na solução nutritiva pode ser potencializada com adição de silício na solução, dependendo da espécie cultivada. Objetivou-se avaliar a interação do amônio com silício sobre a nutrição, fisiologia e desenvolvimento de plantas de brócolis e repolho. Utilizou-se do delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, em esquema fatorial 5 x 2, correspondendo a cinco concentrações de amônio (1,3; 2,7; 5,5; 8,3 e 11,1 mmol L⁻¹) na ausência e na presença de silício (1,0 mmol L⁻¹). Foram realizadas as seguintes avaliações: índice de cor verde, acúmulo de nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio e silício, na raiz e na parte aérea, fotossíntese, condutância estomática, transpiração, diâmetro de caule, área foliar, massa de matéria fresca e seca da parte aérea e seca da raiz. O fornecimento de Si na solução nutritiva potencializa a resposta em crescimento das plantas de brócolis ao amônio, não havendo efeito em repolho. Para o cultivo do brócolis e do repolho, são indicadas as concentrações de amônio de 8,6 e 7,3 mmol L⁻¹, respectivamente, associadas ao silício apenas para o brócolis.

Palavras-chave: *Brassica oleracea*, fertilização amoniacal, elemento benéfico, estresse nutricional.

SILICON AND AMMONIUM IN NUTRITION AND GROWTH BRASSICA VEGETABLES

ABSTRACT - The response of the brassica to ammonia nitrogen in the nutrient solution can be enhanced with the addition of silicon in the solution depending on the cultivated species. It aimed to evaluate the interaction of ammonium with silicon on nutrition, physiology and development of plants in two brassicas. A completely randomized design with four repetitions was used in a factorial 5 x 2, corresponding to five ammonium concentrations (1.3, 2.7, 5.5, 8.3 and 11.1 mmol L⁻¹) in absence and presence of silicon (1.0 mmol L⁻¹). The following evaluations were performed: green index, accumulation of nitrogen, potassium, calcium, magnesium and silicon, in the root and shoot, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, stem diameter, height, leaf area, fresh and dry weight of shoot and root. Nutritive solution Si supply enhances broccoli plants growth response to ammonium, with no effect on cabbage. For broccoli and cabbage cultivation, ammonium concentrations of 8.6 and 7.3 mmol L⁻¹ are indicated, respectively, with silicon association only for broccoli.

Keywords: Brassica oleracea, ammonia fertilizer, beneficial element, nutritional stress.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) disponível para plantas encontra-se na solução do solo principalmente nas formas de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+), sendo que os processos fisiológicos e bioquímicos do metabolismo nos vegetais são afetados pela forma absorvida, refletindo no crescimento das plantas (BORGOGNONE et al., 2013).

O fornecimento de N amoniacal promove redução na demanda de energia metabólica para a planta assimilá-lo, por dispensar as fases de redução do nitrato e do nitrito (HACHIYA et al., 2012; BITTSÁNSZKY et al., 2015). Estes benefícios foram obtidos em plantas de *Brassica campestris* cultivadas em solução nutritiva com a adição de $5,5 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ (ZHANG et al., 2007). Em estudos com *Brassica napus*, Hu et al. (2015) verificaram aumento do índice de cor verde e fotossíntese nas plantas cultivadas sob $0,75 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ .

Contudo, concentrações elevadas de NH_4^+ no meio de cultivo induzem as plantas à toxicidade, promovendo redução da fotossíntese líquida e do acúmulo de cátions, como K, Ca e Mg (BRITTO; KRONZUCKER, 2002), reduzindo o crescimento em *Brassica campestris*, em concentração de $8,3 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ (ZHANG et al., 2007). Observa-se divergência quanto à tolerância das brássicas ao NH_4^+ , bem como a necessidade de alternativas para mitigar possível estresse e potencializar a resposta ao fornecimento de N amoniacal na solução nutritiva. Neste sentido, uma possível alternativa para mitigar o efeito da toxicidade de amônio às plantas é a utilização do silício (Si). Este elemento não é considerado essencial às plantas (EPSTEIN, 2009), apresentando efeitos benéficos, principalmente em relação à amenização de estresses ocasionados por fatores abióticos, como desequilíbrios de ordem nutricional (BITYUTSKII et al., 2014).

O fornecimento de Si no meio de cultivo pode contribuir para a melhoria do funcionamento do metabolismo do N nas plantas pelo aumento da atividade de enzimas, como a glutamina sintetase, da glutamato sintetase e da glutamato desidrogenase (FENG et al., 2010; BYBORDI, 2012;) e aumento no teor de clorofila (VATEHOVÁ et al., 2012). Segundo esses autores, o efeito protector de Si,

amenizando o estresse em plantas de *Brassica juncea* (L.) e *Brassica napus*, poderia ser atribuído ao desenvolvimento de suberina na lamela da endoderme.

Outro possível benefício do silício é o efeito potencializador na resposta da planta a concentrações de amônio na solução ou para diminuir riscos de eventual toxicidade em plantas de brássicas, como brócolis e repolho.

Apesar da importância econômica e nutricional das brássicas, poucos estudos têm sido realizados em relação ao amônio e ao silício, havendo dúvidas quanto à interação destes elementos nutricionais no crescimento vegetal.

Objetivou-se avaliar a interação do amônio com o silício sobre a nutrição, a fisiologia e o desenvolvimento de plantas de brócolis e de repolho.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância das brássicas

A família Brassicaceae é composta de várias espécies de importância econômica (GRIFFITHS et al., 1998). Dentre elas, destacam-se o brócolis (*B. oleracea* var. *italica*) e o repolho (*B. oleracea* var. *capitata*), por serem as espécies que estão entre as mais cultivadas e consumidas (FILGUEIRA, 2008). O consumo de brócolis teve um aumento expressivo ao longo da última década devido às diversas propriedades nutricionais (LALLA et al., 2010), com benefícios diretos para a saúde, como no auxílio à prevenção do câncer (AMBROSONE et al., 2004).

O brócolis (*Brassica oleracea* L. var. *itálica*) é cultivado em diversas regiões do mundo, com maior abrangência em região de clima ameno, onde tem melhor desenvolvimento (LALLA et al., 2010). O grupo *Itálico* divide-se em dois tipos: ramoso e cabeça-única. O tipo ramoso, que lidera o mercado nacional no consumo *in natura*, constitui-se de botões florais compridos e separados uns dos outros (FERREIRA; SOUZA; GOMES, 2013). Deste tipo, a cultivar Ramoso Piracicaba tem sido bastante promissora e com ampla adaptabilidade, pois alcança bom desenvolvimento em temperatura mais elevada, sendo mais uma alternativa para os produtores (FILGUEIRA, 2000). Já o tipo cabeça ou inflorescência única, engloba muitas cultivares que são cultivadas principalmente no outono-inverno, nos Estados do Sul e Sudeste do Brasil (SEABRA JÚNIOR, 2005), conhecida popularmente de brócolis-japonês (FERREIRA et al., 2013). A inflorescência, geralmente, é a parte mais consumida da planta (LALLA et al., 2010), embora as folhas também sejam comercializadas (GRILLI et al., 2003).

A cultura de brócolis apresenta melhor desenvolvimento sob condições de temperatura média entre 15 e 18°C e máxima de 24°C (TREVISAN et al., 2003). Em temperaturas acima de 28°C, o desenvolvimento floral do brócolis é interrompido, especialmente nos primeiros estádios do desenvolvimento da inflorescência (SCHIAVON JÚNIOR et al., 2008). No entanto, em temperaturas elevadas, podem provocar crescimento excessivamente rápido da inflorescência e alongamento do

pedúnculo em determinadas cultivares (LALLA et al., 2010). Porém, o brócolis pode ser produtivo em condições de clima quente, mediante o uso de cultivares tolerantes a temperaturas mais elevadas (TREVISAN et al., 2003).

A produção de brócolis é prejudicada nas épocas quentes e chuvosas com muito ventos, épocas estas que chegam a durar de quatro meses (Sudeste, Sul do Brasil) a oito meses (nordeste da Amazônia) em cada ano, sendo que os primeiros quatro meses coincidem desde o norte ao sul do País. As chuvas e os ventos fortes quebram as folhas, espalham doenças e pragas, ainda derrubam canteiros e lixiviam os nutrientes nos canteiros, provocando sérios danos à produção (ARAÚJO, 1998).

O repolho é outra hortaliça rica em minerais, como potássio, cálcio, fósforo, sódio, enxofre e ferro. Além disso, contém vitaminas A, B1, B2 e K, sendo também uma ótima fonte de vitamina C, mas apenas é aproveitada quando o vegetal é consumido cru (NUNES et al., 2009). Está incluído entre as principais hortaliças (CARNEIRO, 1981), o que se deve ao valor nutricional, à versatilidade do consumo *in natura* e de processamento industrial, e às propriedades terapêuticas, que fazem do repolho um alimento popular, barato e de grande importância social, econômica e alimentar (SILVA JÚNIOR, 1991). A produtividade do repolho varia de 30 a 80 t ha⁻¹, sendo produzido em todos os Estados brasileiros, mas predomina nas regiões Sudeste e Sul (NUNES et al., 2009).

O repolho (*Brassica oleracea* var. capitata) é uma hortaliça herbácea, com folhas arredondadas e cerosas, formando uma cabeça compacta (MOREIRA et al., 2011). Assim, pela escolha criteriosa da cultivar, a época de plantio estende-se ao longo do ano, em diversas regiões produtoras (FILGUEIRA, 2000). Para obter alta produtividade e máximo retorno econômico, necessita-se de adubação, especialmente de nitrogênio. Quase sempre é necessário aplicar fertilizante nitrogenado, em dose adequada, para a obtenção de plantas com cabeça de repolho com a compactidade (firmeza) desejada pela aceitação comercial (MOREIRA et al., 2011).

2.2 Adubação nitrogenada em brássicas

O nitrogênio fornecido em doses adequadas contribui para o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas, principalmente em hortaliças herbáceas, já que o produto comercial é constituído de folhas, hastes tenras e inflorescências (FILGUEIRA, 2008).

A exigência nutricional da cultura do brócolis em relação à adubação nitrogenada tem sido evidenciada por alguns estudos, onde foi observada a resposta das plantas a doses de nitrogênio variando de 75 a 317 kg ha⁻¹ (TRANI; RAIJ, 1997; EVERAARTS; WILLIGEN, 1999; FILGUEIRA, 2008; SIQUEIRA et al., 2009; CECÍLIO FILHO et al., 2012). O nitrogênio atua na planta como constituinte de vários compostos orgânicos, incluindo proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitormônios e metabólitos secundários (MARSCHNER, 2012).

A adubação nitrogenada tem grande importância no manejo das culturas, influenciando sobre o crescimento, e o desenvolvimento da produtividade (HUBER, 1994; MARSCHNER, 1995). Sendo que o efeito do nitrogênio na resistência de doenças é totalmente dependente da dose, pois em doses adequadas contribui para a síntese de fenóis e alcaloides, mas em altas concentrações reduz a produção de compostos fenólicos (YAMADA, 2004). Além disso, o excesso de N resulta na produção de tecidos jovens e suculentos, podendo prolongar o estágio vegetativo, criando condições favoráveis ao ataque de patógenos.

A adubação nitrogenada é um dos fatores que contribuem de forma significativa no aumento da produtividade do repolho (HUANG et al., 2004; AQUINO et al., 2005a; DIN et al., 2007). A deficiência de nitrogênio pode ocasionar a redução da área foliar, cabeças menores, podendo resultar em baixa produtividade (CARDOSO; HIRAKI, 2001; TORRES et al., 2003). No entanto, adubação nitrogenada em excesso favorece o crescimento excessivo das folhas, reduz os teores de açúcares e de vitamina C, e a massa da matéria seca da cabeça (KANO et al., 2007; DIN; QASIM; ALAM et al., 2007).

2.3 Toxicidade de amônio em plantas

Apesar de o amônio ser uma fonte de N para as plantas em ambientes naturais e agrícolas, ele pode causar toxicidade, quando em concentrações excessivas (BRITTO; KRONZUCKER, 2002). O mecanismo de toxicidade de amônio é ainda em grande parte desconhecido (BRITTO; KRONZUCKER, 2002).

Apesar disso, a absorção de N na forma amoniacal pode ter como vantagem o N estar na forma reduzida; no entanto, o fluxo de amônio é de difícil controle, pelo fato de o excesso dessa forma induzir a toxicidade aos vegetais (LOQUÉ et al., 2004). Nesse sentido, estudos apontam que a maioria das plantas superiores desenvolve sintomas tóxicos graves, quando cultivada apenas com amônio.

A toxicidade de amônio ocasiona mudanças bioquímicas e fisiológicas na planta, como: alterações no pH intracelular, no equilíbrio osmótico, no metabolismo de fitormônios e de poliaminas, e induz a deficiência de nutrientes (GERENDÁS et al., 1997).

O amônio em excesso pode causar danos à integridade física das membranas das células dos vegetais (KOCHANOVÁ et al., 2014), sendo relatada a diminuição do índice de vazamento de eletrólitos em plantas de *Arabidopsis thaliana* (HELALI et al., 2010). Com isto, pode haver diminuição da atividade fotossintética das plantas, um dos processos metabólicos mais afetados pelas formas de nitrogênio absorvido pela planta (BITTSÁNSZKY et al., 2015; CRUZ et al., 2014).

Os sintomas de toxicidade causados por excesso de amônio são clorose, necrose, atrofiamento e murcha das folhas, coloração marrom do sistema radicular e do caule, apresentando sinais de senescência (LOQUÉ et al., 2004; WONG, 2005; NEUBERG et al., 2010), reduzem o crescimento das plantas, apresentam raízes curtas e atrofiadas, e, em casos de toxicidade severa, raízes e talos ficam com aspecto insalubre e apresentam podridão, podendo ocorrer a morte do vegetal (WONG, 2005; ROOSTA; SCHJOERRING, 2007; JAMPEETONG; BRIX; KANTAWANICHKUL, 2012). Entretanto, as respostas que as plantas apresentam quando absorvem amônio são muito amplas, mesmo sendo da mesma espécie, de maneira que há diferenças entre as variedades quanto ao comportamento de plantas

sob estresse por amônio (CRUZ et al., 2011). Este fato justifica estudos desses efeitos em vegetais de mesma espécie.

2.4 Interação do silício e nitrogênio

O Silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, mas não é considerado elemento essencial para as plantas (EPSTEIN, 1999). No entanto, o Si pode apresentar efeitos benéficos às plantas, principalmente em relação à amenização de estresses ocasionados por fatores bióticos (doenças e pragas) e abióticos (toxicidade por elemento tóxico, desequilíbrios de nutrientes, salinidade, seca, geadas, alta temperatura e de radiação ultravioleta) (EPSTEIN, 1999; MA, 2004; HATTORI et al., 2005; DING et al., 2013; BITYUTSKII et al., 2014).

Outro efeito benéfico da aplicação de silício é que, com a maior aplicação de amônio, os tecidos das plantas ficam com maior succulência e há menor síntese de fitoalexinas, além de diluir o teor de silício na planta, favorecendo a penetração de agentes externos como patógenos (MALAVOLTA, 2006). Portanto, o aporte de silício na solução nutritiva poderia minimizar essa diluição, favorecendo o desenvolvimento vegetal.

O fornecimento de silício (Si) na adubação pode contribuir para a melhoria do funcionamento do metabolismo do nitrogênio através do aumento da atividade de enzimas: redutase do nitrato; glutamina sintetase; glutamato sintetase; e glutamato desidrogenase (BYBORDI, 2012; FENG et al., 2010). Em estudo sobre a relação nitrato e amônio, com aplicação de Si (2 e 4 mmol L⁻¹), em plantas de canola sob condições salinas, Bybordi (2010) observou uma relação benéfica do Si com o amônio. Nesse estudo, com o aumento da concentração de amônio na presença desse elemento, houve incremento na produção de matéria fresca e na área foliar, evidenciando o efeito benéfico do Si em altas concentrações de amônio.

Estudos sobre a interação entre silício e excesso de amônio e de nitrato em plantas de *Saccharum spp.* e de *Cucumis sativus*, mostraram que o uso do elemento benéfico, em ambas as variedades de cana-de-açúcar e de pepino aliviou a

toxicidade de amônio proporcionando maiores acúmulos de matéria seca de plantas (CAMPOS, 2013).

Nessa mesma linha de estudo, Campos et al. (2015) obtiveram minimização da toxicidade por excesso de amônio na solução nutritiva de milho quando da adição de silício na solução, apontando que o uso desse elemento pode ser uma alternativa para mitigar o estresse por excesso de amônio em plantas.

Em estudos sobre a relação amônio e nitrato e mitigação da toxicidade amoniacal com silício em mudas de maracujazeiro-amarelo, Silva Júnior (2015), verificou que o fornecimento de Si no meio de cultivo, sob excesso de amônio, incrementou o acúmulo, a eficiência de uso do N, o comprimento e a matéria seca da raiz e o índice de cor verde das folhas, e diminuiu o índice de vazamento de eletrólitos das folhas, refletindo no aumento do diâmetro do caule. Portanto, este mesmo autor afirma que o Si favorece a mitigação da toxicidade de amônio em maracujazeiro durante a fase de produção de mudas.

Os benefícios conferidos pelo Si, seja pelos efeitos protetores ao aparelho fotossintético dos vegetais, seja pelo no equilíbrio dos nutrientes minerais (MATEOS-NARANJO; ANDRADES-MORENO; DAVY, 2013), confrontam os efeitos danosos ocasionados pelo excesso de N, pois o excesso de N nos vegetais causa a indução de deficiência de nutrientes minerais (GERENDÁS et al., 1997) e efeitos deletérios na fotossíntese (BRITTO; KRONZUCKER, 2002).

Nesse sentido, há necessidade de pesquisas adicionais visando a avaliar a possibilidade de uso do silício na mitigação do estresse pelo fornecimento de amônio na solução nutritiva de brássicas, além de avaliar a habilidade desse elemento em potencializar os efeitos benéficos promovidos pelo fornecimento de nitrogênio amoniacal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação, no Departamento de Solos e Adubos da FCAV/Unesp – Câmpus de Jaboticabal – SP. Um utilizando-se de plantas de brócolis, cultivar Piracicaba Precoce e outro usando repolho, cultivar Fênix, durante um período de 85 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco concentrações de amônio (1,3; 2,7; 5,5; 8,3 e 11,1 mmol L⁻¹) na ausência e na presença de Si (1 mmol L⁻¹), em solução nutritiva. As concentrações de amônio foram baseadas no trabalho de Zhang et al. (2007). Utilizou-se como fonte de NH₄⁺ do cloreto de amônio (NH₄Cl), e como fonte de Si do ácido monossilícico (H₄SiO₄).

As mudas foram cultivadas em bandejas de poliestireno de 228 células (14 cm³) e transplantadas 25 dias após a emergência. A unidade experimental foi composta de um vaso de polipropileno com capacidade de 3,6 L, (18,9 cm de diâmetro superior, 18,5 cm de altura e 14,8 cm de diâmetro inferior), com duas plantas, tendo como substrato a mistura na proporção 1:1 de vermiculita média (90 a 100% das partículas entre 1,19 e 1,50 mm) e superfina (90 a 100% das partículas entre 0,21 e 0,30 mm). A retenção de solução na vermiculita foi de 541,6 mL L⁻¹.

A partir do transplântio, foram utilizados, durante 10 dias, 200 mL de solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), diluída a 25% e modificada a fonte de Fe-EDTA (ácido etilenodiamino tetracético) para Fe-EDDHMA (ácido etilenodiamino-di (o-hidroxifenil-acético orto-orto 4,8%)). Aos 11 dias após o transplântio (DAT), adicionou-se o Si de acordo com os tratamentos. A partir dos 20 DAT até aos 60 DAT, utilizou-se de 300 mL de solução nutritiva diluída a 50%, e a fonte de N foi alterada para NH₄⁺ de acordo com os tratamentos. A solução foi preparada e acondicionada em recipiente com capacidade de 20 L e foi aferido o pH, mantendo os valores entre 5,8 e 6,00.

Aos 60 DAT, foram realizadas as seguintes avaliações: Diâmetro do caule: foram feitas a 1 cm acima da superfície do substrato, com auxílio de paquímetro digital; Altura de plantas: foram feitas desde a base até ao meristema apical; Índice de cor verde (ICV): foi determinado com medidor de ICV (Opti- Sciences® CCM-200

Chlorophyll Meter); Variáveis fisiológicas: fotossíntese, condutância estomática e transpiração por meio de analisador de gases a infravermelho (LICOR, Inc., LI-6400). As medidas de índice de cor verde (ICV) e variáveis fisiológicas foram realizadas no terço médio da folha diagnose, primeira folha completamente desenvolvida a partir do ápice (CECÍLIO FILHO; PRADO, 2010), em duas plantas por unidade experimental; Área foliar: foi determinada em todas as folhas de duas plantas por unidade experimental, utilizando aparelho integrador de áreas portátil (LI-COR® modelo LI-3000C).

As plantas foram coletadas e separadas em raiz e em parte aérea, determinada a massa fresca da parte aérea, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar (65 ± 5 °C), até massa constante. Em seguida, foi determinada a massa de matéria seca da raiz e da parte aérea, e moída em moinho tipo Willey. Realizou-se a análise química da raiz e da parte aérea, determinando os teores de N, K, Ca e Mg, conforme a metodologia proposta por Bataglia et al. (1983), e de Si, de acordo com Kraska e Breitenbech (2010). A partir dos teores e da massa de matéria seca, foi calculado o acúmulo desses elementos na planta.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo teste F ($P < 0,05$), seguindo-se de análise de modelo de regressão polinomial ($P < 0,05$) para as concentrações de amônio, utilizando o programa estatístico SISVAR 3.01 (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre as concentrações de NH_4^+ e a presença de Si na solução nutritiva sobre o acúmulo de N, K, Ca, Mg e Si na raiz e na parte aérea de brócolis e de repolho. Verifica-se efeito individual das concentrações de NH_4^+ sobre o acúmulo desses nutrientes na matéria seca da raiz e na parte aérea, com exceção do acúmulo de Ca e Mg na raiz, que não teve efeito do NH_4^+ (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância e resultados médios do acúmulo de N, K, Ca, Mg e Si na matéria seca da raiz e da parte aérea (PA) de brócolis e repolho em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de silício (Si) na solução nutritiva.

	N		K		Ca		Mg		Si	
	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA	Raiz	PA
----- mg por planta -----										
Brócolis										
Ausência (Si)	34,3	204,6	33,3	362,1	22,5	49,5	324,6	43,4	2,0	3,9
Presença (Si)	29,3	196,3	29,1	330,6	17,7	47,2	206,7	41,7	2,8	4,0
----- Teste F -----										
Si	2,7 ^{ns}	0,2 ^{ns}	3,9 ^{ns}	2,5 ^{ns}	5,2*	0,8 ^{ns}	7,4**	0,8 ^{ns}	5,9**	0,1 ^{ns}
N	8,0**	34,8**	4,9**	56,9**	0,5 ^{ns}	16,9**	0,75 ^{ns}	76,9**	10,6**	9,2*
Si x N	1,2 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,9 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,8 ^{ns}
CV (%)	28,4	31,1	21,3	18,3	32,9	16,4	51,5	14,8	30,8	29,1
Repolho										
Ausência (Si)	23,3	316,7	32,1	758,3	11,7	144,7	79,6	95,1	1,4	4,4
Presença (Si)	15,4	310,7	22,7	614,9	6,1	140,0	31,2	94,1	0,5	5,5
----- Teste F -----										
Si	9,6**	0,12 ^{ns}	9,6**	30,2**	13,7**	0,5 ^{ns}	15,6**	0,1 ^{ns}	38,7**	5,9*
N	4,5**	75,0**	6,7**	138,3**	2,6 ^{ns}	10,6**	2,6 ^{ns}	48,4**	7,9**	11,7**
Si x N	0,5 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,9 ^{ns}	2,7 ^{ns}	1,4 ^{ns}	2,2 ^{ns}	1,4 ^{ns}	1,7 ^{ns}	1,9 ^{ns}	1,3 ^{ns}
CV (%)	42,0	17,5	35,1	12,0	54,2	14,6	35,2	12,0	23,0	28,9

C.V. = coeficiente de variação; ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O aumento das concentrações de amônio na solução nutritiva promoveu acréscimo no acúmulo de N e de K na parte aérea e na raiz das plantas de brócolis (Figuras 1a, b) e do repolho (Figuras 2a, b), e também acúmulo de Ca e Mg apenas na parte aérea do brócolis (Figuras 1c,d,) e do repolho (Figuras 2c,d). Independentemente do Si na solução nutritiva, as plantas de repolho, diferentemente do brócolis, apresentaram máximo acúmulo de Ca na parte aérea, na concentração de $7,2 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ e diminuindo o acúmulo do macronutriente nas maiores concentrações de amônio (Figura 2c).

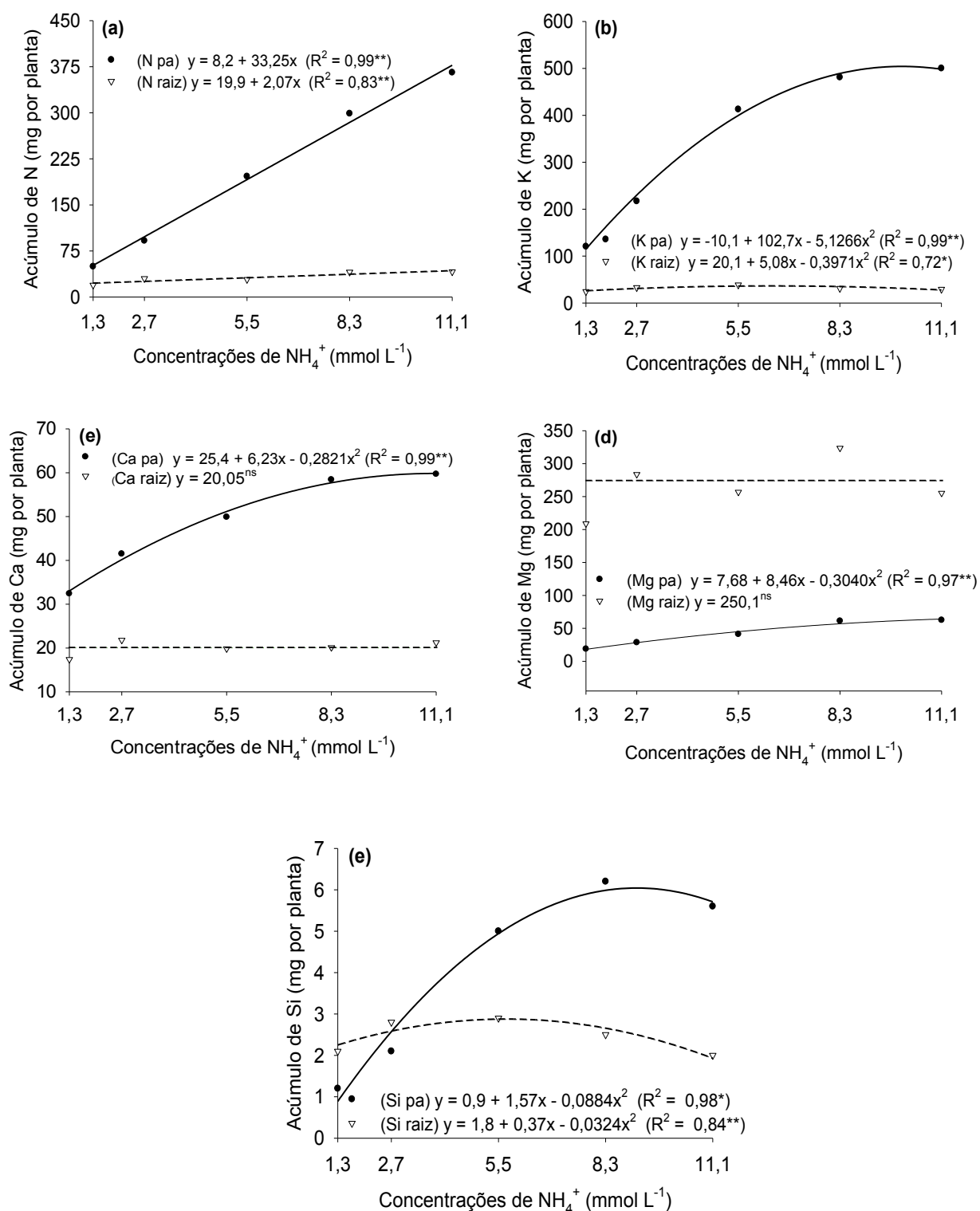


Figura 1. Acúmulo de N (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e Si (e) na raiz e na parte aérea (pa) de plantas de brócolis, em função de concentrações de NH_4^+ . ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Resultado semelhante foi observado em *Brassica campestris*, havendo decréscimo do acúmulo de Ca a partir da concentração de 8,3 mmol L⁻¹ de amônio (ZHANG et al., 2007), e em outras espécies com concentrações de amônio relativamente baixas como *Cucumis sativus* (1,0 mmol L⁻¹) (ROOSTA et al., 2009) e *Pisum sativum* (2,5 mmol L⁻¹) (ARIZ et al., 2011). A diminuição do acúmulo de Ca sobre o excesso de amônio ocorre devido aos desequilíbrios nutricionais nas plantas (Li et al., 2013). Isto possivelmente, está relacionado ao fato de que a absorção de Ca ocorre unicamente nas raízes jovens, especificamente nas zonas meristemáticas, onde as células da endoderme ainda não estão suberizadas (PRADO, 2008), e o excesso de NH₄⁺ causa injúrias a essas estruturas radiculares, diminuindo seu desenvolvimento (BRITTO; KRONZUCKER, 2002; LIU et al., 2013). O desequilíbrio entre esses íons ocorre devido ao efeito antagônico de NH₄⁺ em relação a esses cátions, por serem íons que competem pelos mesmos sítios de absorção (MARSCHNER, 2012). Esse desbalanço iônico ocorre em razão do aumento do influxo de NH₄⁺ e de efluxo de cátions na membrana plasmática, havendo extrusão destes íons para o vacúolo celular, podendo causar sintomas de deficiências nutricionais às plantas (MENDOZA-VILLARREAL et al., 2015).

O aumento da concentração de NH₄⁺ na solução nutritiva diminuiu o acúmulo do Si na raiz e na parte aérea das plantas de brócolis (Figura 1e) e de repolho (Figura 2e). No entanto, com o uso de silício na solução nutritiva, foi observado incremento no acúmulo deste elemento na parte aérea nas plantas de repolho, não sendo observado em plantas de brócolis. Já na raiz a presença do Si na solução nutritiva teve efeito no acúmulo desse elemento para as duas culturas, tendo maior acúmulo em plantas de repolho (Figura 2e) em relação às plantas de brócolis (Figura 1e).

O maior acúmulo de Si nas plantas de brócolis foi obtido nas concentrações de 5,7 e 8,9 mmol L⁻¹ de NH₄⁺ na raiz e na parte aérea, respectivamente (Figura 1e). Já para o repolho, esse maior acúmulo do elemento benéfico ocorreu nas concentrações de 9,3 e 7,4 mmol L⁻¹ de NH₄⁺, na raiz e na parte aérea, respectivamente (Figura 2e). Campos (2013) trabalhando com interação entre fontes de N e concentrações de Si observou diferente reposta das variedades pepino ao acúmulo de Si na raiz e na parte aérea.

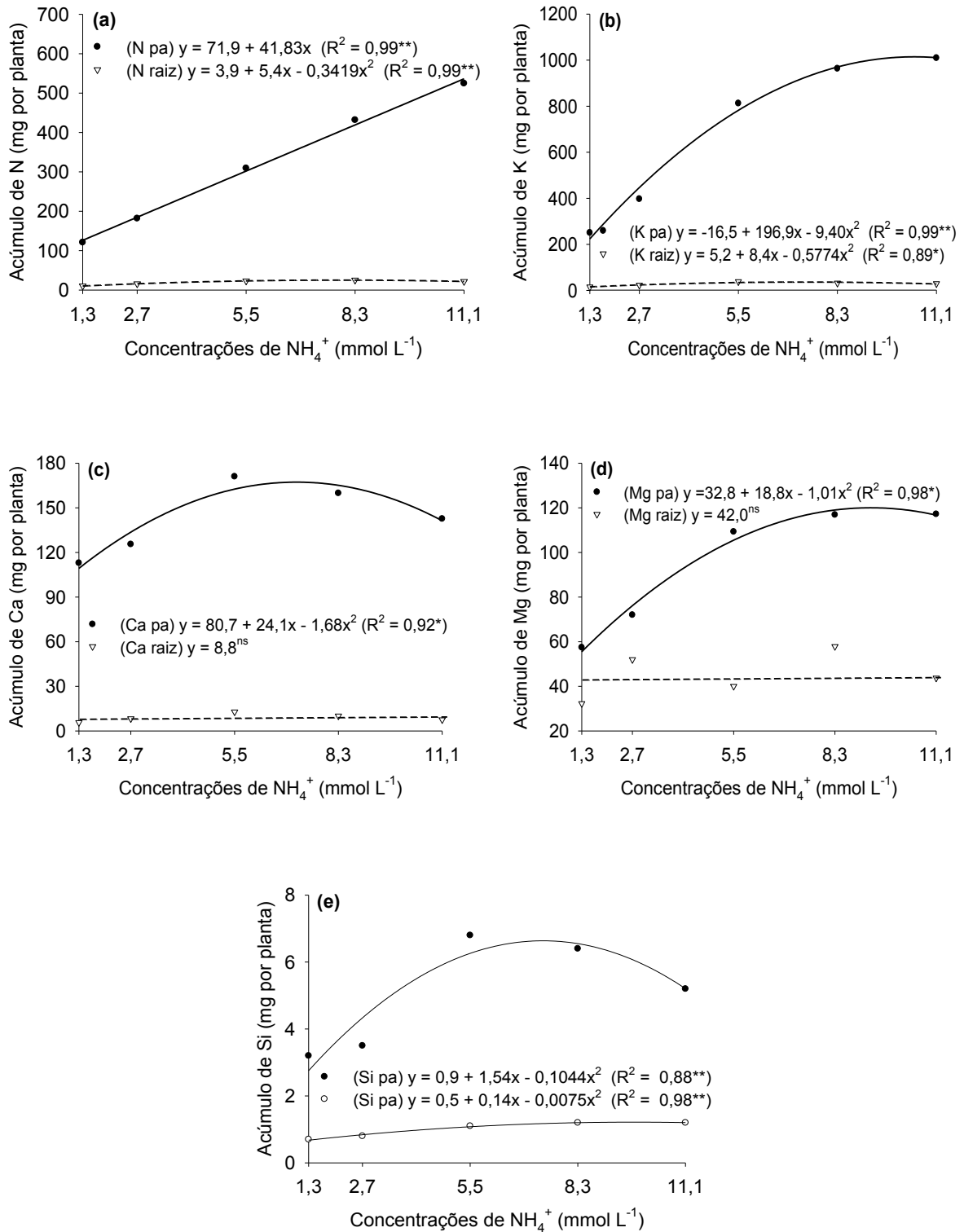


Figura 2. Acúmulo de N (a), K (b), Ca (c), Mg (d) e Si (e) na raiz e na parte aérea (pa) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ . ^{ns} = não significativo; *, ** = significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Houve efeito na interação entre as concentrações de NH_4^+ e a adição de Si na solução de cultivo das plantas de brócolis para as variáveis: fotossíntese, diâmetro do caule, matéria fresca e seca da parte aérea. Para a cultura do repolho, verifica-se efeito individual das concentrações de NH_4^+ na solução nutritiva sobre variáveis estudadas, com exceção da matéria seca da raiz que não houve efeito do NH_4^+ (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância e resultados médios do índice de cor verde (ICV), fotossíntese (F), condutância estomática (CE), transpiração (T) diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), matéria seca da raiz (MSR), matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de brócolis em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de Si, na solução nutritiva.

	ICV	F	CE	T	DC	AF	MSR	MFPA	MSPA
		$\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$	mm	cm^2	-----g por planta-----		
Brócolis									
Ausência (Si)	20,3	76,15	0,028	23,00	6,0	584,4	5,0	60,0	7,8
Presença (Si)	22,2	77,10	0,029	23,05	6,1	600,1	4,1	63,3	8,2
	-----Teste F-----								
Si	2,33 ^{ns}	2,2 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,69 ^{ns}	2,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	4,1 ^{ns}	500,5 ^{ns}	6,6 *
N	10,3 ^{**}	10,5 ^{**}	1,87 ^{ns}	1,46 ^{ns}	34,6 ^{**}	23,5 ^{**}	2,3 ^{ns}	62,7 ^{**}	294,8 ^{**}
Si x N	0,6 ^{ns}	3,50 [*]	0,88 ^{ns}	0,98 ^{ns}	3,5 [*]	1,3 ^{ns}	0,2 ^{ns}	6,8 ^{**}	4,8 ^{**}
CV (%)	18,8	2,3	13,00	0,83	5,4	11,2	31,9	9,5	6,9
Repolho									
Ausência (Si)	20,3	27,0	0,38	4,21	8,3	2119,6	2,2	149,2	14,3
Presença(Si)	22,2	7,2	0,37	4,7	8,2	2044,0	1,3	147,9	14,6
	-----Teste F-----								
Si	2,33 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,6 ^{ns}	3,0 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,1 ^{ns}	16,4 ^{**}	0,0 ^{ns}	0,6 ^{ns}
N	10,3 ^{**}	7,6 ^{**}	3,71 [*]	4,4 ^{**}	42,4 ^{**}	122,9 ^{**}	3,7 ^{ns}	176,8 ^{**}	60,1 ^{**}
Si x N	0,6 ^{ns}	2,5 ^{ns}	2,80 ^{ns}	3,0 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,4 ^{ns}
CV (%)	18,8	5,8	34,6	18,6	4,0	10,8	42,2	9,3	9,0

C.V. = coeficiente de variação; ns = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O uso do NH_4^+ na solução nutritiva, associado com elemento benéfico, promoveu maior ICV e maior fotossíntese nas plantas de brócolis cultivadas sob a concentração de $8,3 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ (Figuras 3a e b). Este efeito do Si não ocorreu nas plantas de repolho, atingindo maior valor de ICV com a concentração de $8,2 \text{ mmol L}^{-1}$ de NH_4^+ (Figura 4a). A resposta divergente das culturas ao efeito benéfico do Si possivelmente está relacionada com fator genético ou quando os vegetais estão em condições de estresses, o Si atua mais nestas condições. Alguns autores relataram os efeitos do uso do Si na melhoria da fotossíntese em plantas sob estresses, como Feng et al. (2010), em plantas de pepino sob toxicidade por cádmio,

Bybordi (2012) e Shi et al. (2013), em plantas de canola e arroz, respectivamente, sob salinidade.

Observa-se nas concentrações de NH_4^+ maiores que $8,3 \text{ mmol L}^{-1}$, redução dos valores do índice de cor verde das folhas, indicando possíveis danos causados pelo excesso deste cátion em plantas de brócolis (Figura 3a). Silva Junior (2015) também relatou diminuição dos valores do índice de cor verde em folhas de maracujazeiro, quando adicionou elevadas concentrações de NH_4^+ .

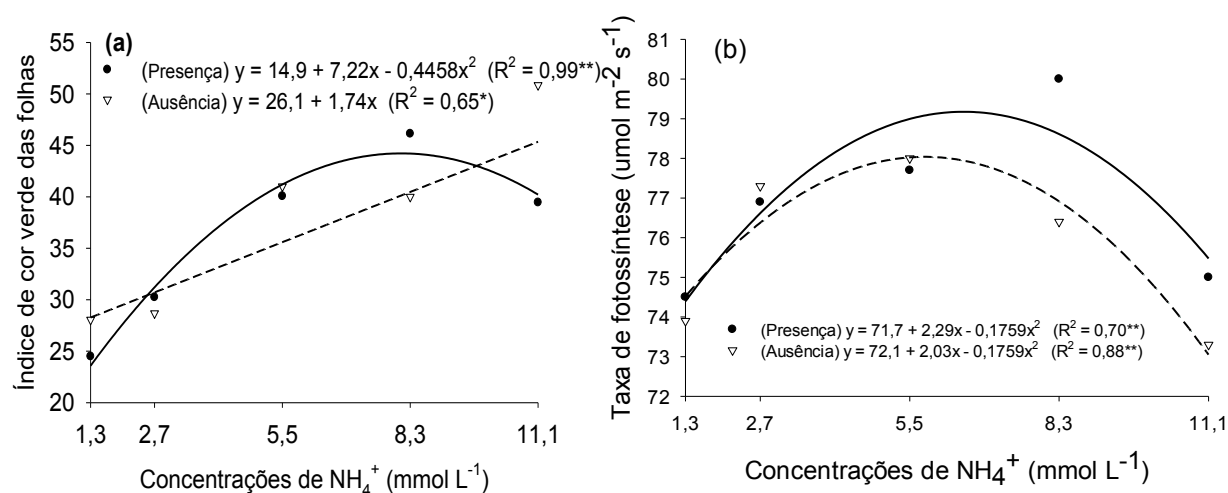


Figura 3. Índice de cor verde foliar (a) e taxa de fotossíntese (b) de plantas de brócolis em função de concentrações de NH_4^+ , na presença e na ausência de Si na solução nutritiva. ns = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Nas plantas de repolho o máximo valor da condutância estomática, da transpiração e da fotossíntese líquida ocorreu com o uso da maior concentração de NH_4^+ independentemente do uso do Si na solução nutritiva (Figura 4b, c, d). A relação direta entre o suprimento de N e o índice de cor verde também foi relatada por Yang et al. (2014), sendo atribuída ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas são constituintes de enzimas associadas à síntese de cloroplastos e também da clorofila (MARSCHNER, 2012), refletindo diretamente na fotossíntese. No entanto, em condição de elevada concentração de amônio no meio de cultivo, verificou-se menor índice de cor verde das folhas, fato também relatado em *Brassica napus* (HU et al., 2015).

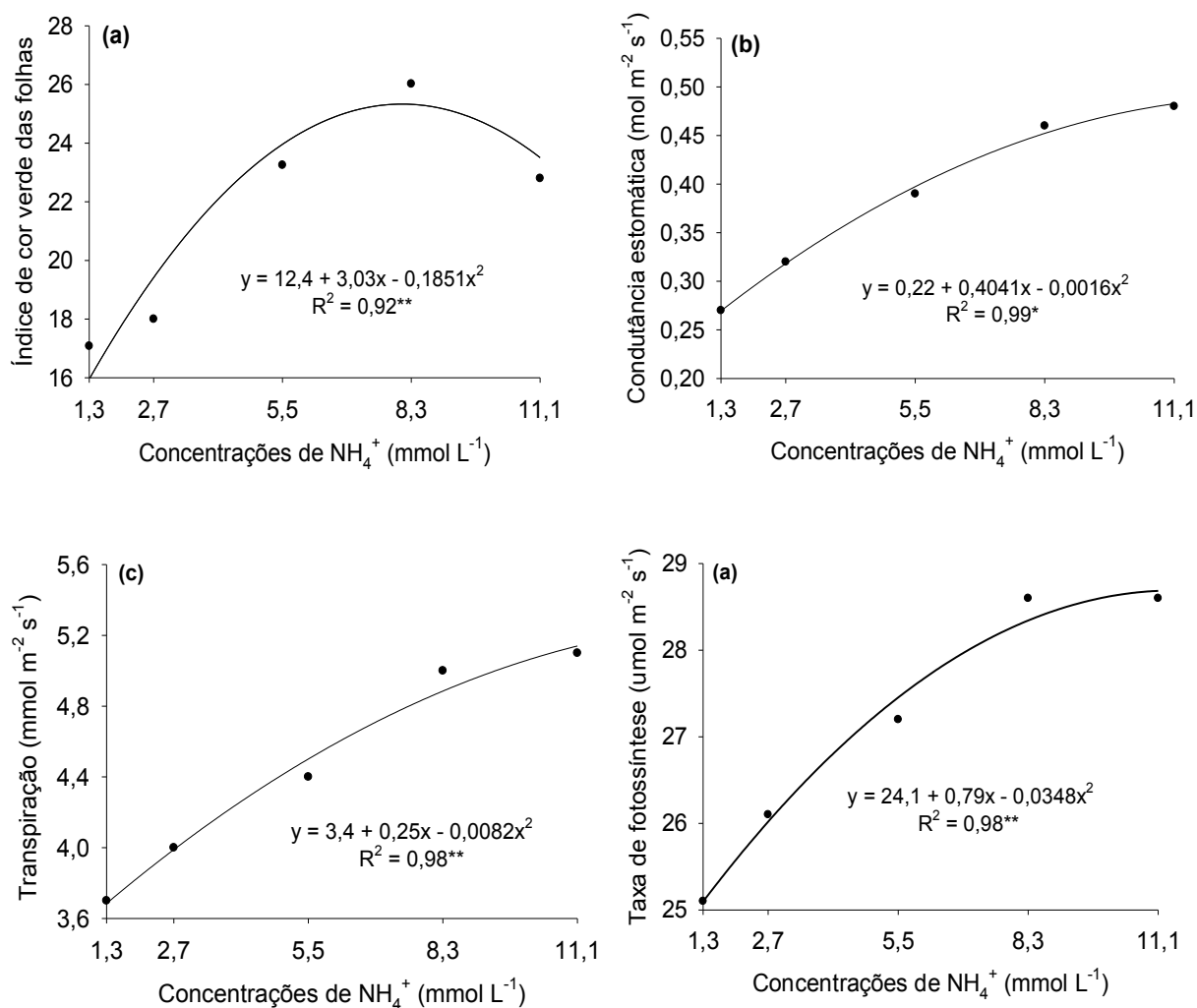


Figura 4. Índice de cor verde foliar (a), condutância estomática (b), transpiração (c) e taxa de fotossíntese (d) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ . ns = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

O aumento da concentração de NH_4^+ promoveu incremento no diâmetro do caule em plantas de brócolis, especialmente com associação do Si, atingindo ponto de máxima nas concentrações de amônio de 7,1 a 8,9 mmol L⁻¹, na presença e na ausência do Si, respectivamente (Figura 5a). Este efeito do amônio refletiu na matéria fresca da parte aérea (Figura 5c) e na matéria seca da parte aérea (Figura 5d), atingindo o ponto de máxima na concentração de 11,1 mmolL⁻¹ de NH_4^+ . Este aumento de matéria seca da parte aérea do brócolis, em função das concentrações de amônio na ausência e na presença de Si, está correlacionado com o aumento do

acúmulo de N ($r=0,89^{**}$), K ($r=0,91^{**}$), Mg ($r=0,93^{**}$) e do Si ($r=0,89^{**}$), na parte aérea, e também com o diâmetro do caule ($r=0,87^{**}$) e da área foliar ($r=0,96^{**}$).

O fornecimento de Si na solução nutritiva, em relação a sua ausência, potencializou a matéria seca da parte aérea da planta de brócolis, especialmente na maior concentração de NH_4^+ (Figura 5d). Este efeito, possivelmente, deve-se à melhoria que esse elemento benéfico proporciona ao metabolismo do N, como aumento da atividade das enzimas glutamina sintetase, glutamato sintetase e glutamato desidrogenase (FENG et al., 2010; BYBORDI, 2012).

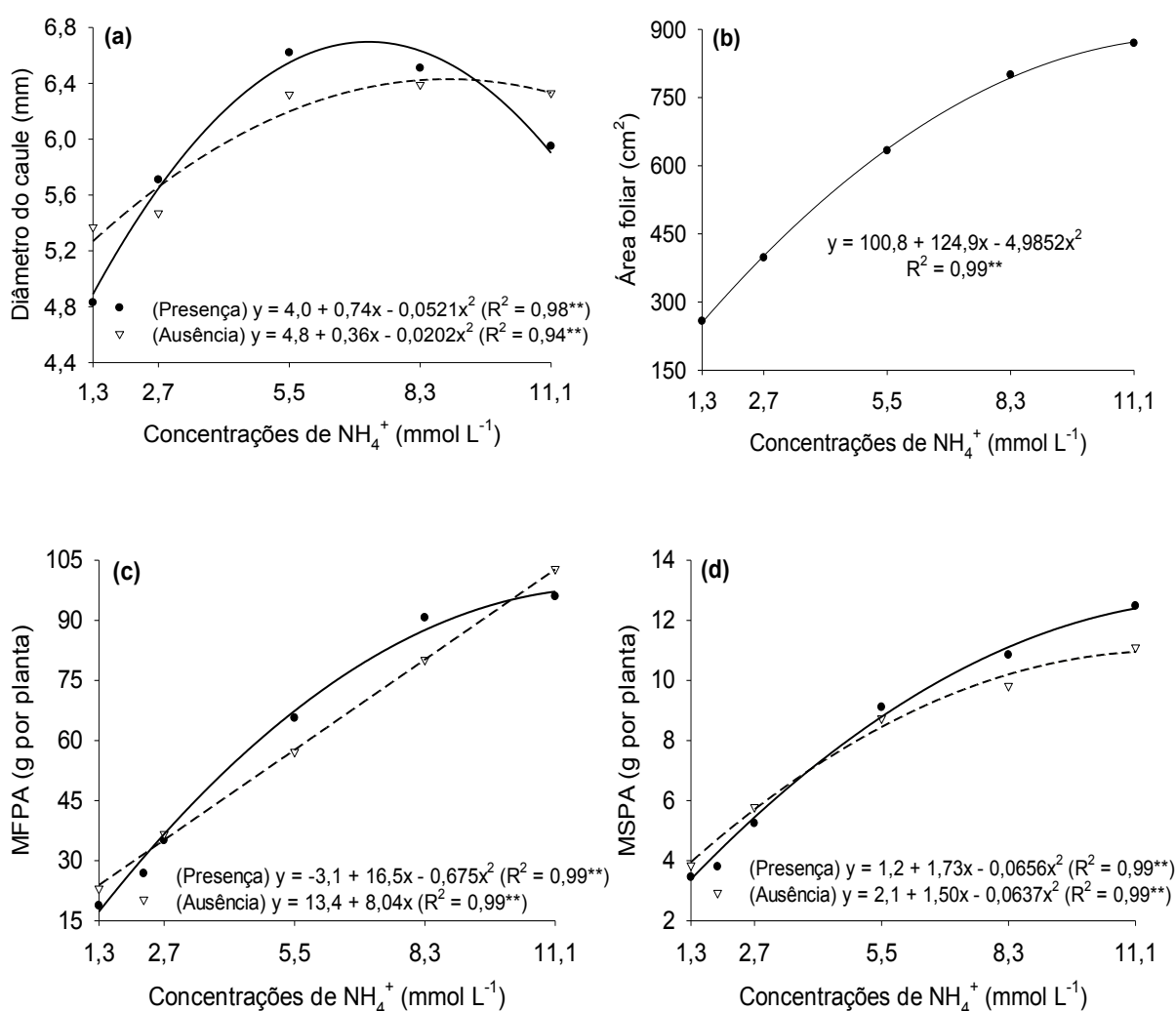


Figura 5. Diâmetro do caule (a), área foliar (b), matéria fresca da parte aérea (MFPA) (c) e matéria seca da parte aérea (MSPA) (d) de plantas de brócolis, em função de concentrações de NH_4^+ , na presença e na ausência de Si na solução nutritiva. *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Soma-se a isto o fato de que o Si pode minimizar os efeitos do estresse amoniacal a exemplo das plantas de milho (CAMPOS et al., 2015), dado seu papel na participação dos mecanismos de defesa das plantas, em sistemas antioxidantes (LIANG et al., 2007). Além disso, a maior disponibilidade de Si pode contribuir para o melhor crescimento da parte aérea das plantas, por afetar a relação carbono e nutrientes (N, P), atuando na substituição do carbono pelo Si, na constituição das estruturas da planta. Este fato possibilita melhor aproveitamento do carbono gerado na fotossíntese, para o crescimento da parte aérea da planta (SCHALLER et al., 2012).

Na cultura do repolho, o aumento das concentrações de amônio gerou aumento no diâmetro do caule, na área foliar e na matéria fresca e seca da parte aérea, independentemente da presença do silício na solução nutritiva (Tabela 2).

Observou-se que a concentração de amônio incrementou com o ajuste quadrático nas variáveis de crescimento (Figura 6). Este aumento da matéria seca da parte aérea do repolho, em função das concentrações de amônio, está correlacionado ao aumento do acúmulo de N ($r=0,92^{**}$), K ($r=0,88^{**}$) e Mg ($r=0,92^{**}$) na parte aérea, no diâmetro do caule ($r=0,89^{**}$) e na área foliar ($r=0,89^{**}$).

O uso de amônio, que proporcionou atingir 90% da produção máxima de matéria seca da parte aérea, ocorreu na concentração de 8,6 na presença de Si para as plantas de brócolis, cultivar Piracicaba Precoce (Figura 5d), e na concentração de 7,3 mmol L⁻¹ de NH₄⁺ na ausência de Si para o repolho, cultivar Fênix (Figura 6d).

Este fato indica que o fator genético tem forte relevância com a resposta das plantas ao amônio; pois, em outras espécies, concentrações de amônio maiores que 5,5 mmol L⁻¹ em *Brassica campestris* (ZHANG et al., 2007) e de 0,75 mmol L⁻¹ em *Brassica napus* (HU et al., 2015) induzem o início de toxicidade.

Observa-se que o emprego da concentração de 11,1 mmol L⁻¹ de NH₄⁺ induziu sintomas iniciais de fitotoxicidade, sendo observados pontos cloróticos que evoluem para clorose uniforme nas folhas mais velhas, seguidos de necrose nas plantas de brócolis (Figura 7a, b). Porém, nas folhas do repolho, foi observado perda da turgidez (Figura 7c) e evoluiu para necrose em parte da folha e clorose em todo o limbo foliar (Figura 7d).

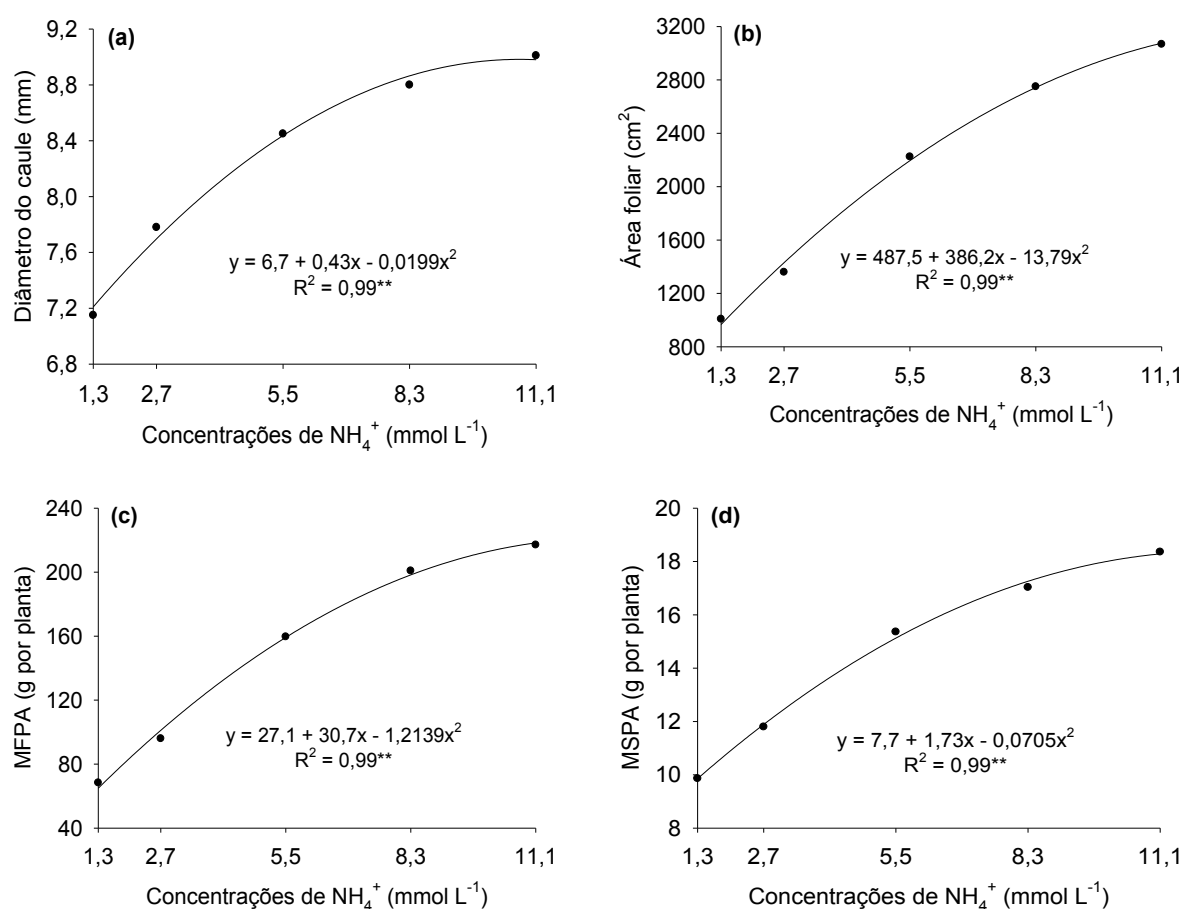


Figura 6. Diâmetro do caule (a), área foliar (b), matéria fresca da parte aérea (MFFPA) (c), e matéria seca da parte aérea (MSPA) (d) de plantas de repolho, em função de concentrações de NH_4^+ , na ausência e na presença de Si e média dos resultados. ^{ns} = não significativo; *, **= significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Esses sintomas de toxicidade foram semelhantes aos descritos por Li et al. (2014). No presente trabalho, esses sintomas ficaram restritos às folhas mais velhas. Portanto, não prejudicaram a massa de matéria seca da parte aérea das plantas de brócolis (Figura 5d) e de repolho (Figura, 6d). O excesso de amônio na solução causa alterações de várias reações metabólicas na planta, induzindo aumento no conteúdo de espécies reativas de oxigênio (O_2^- e H_2O_2), que pode causar peroxidação oxidativa, diminuindo os teores de clorofilas a e b (JAMPEETONG et al., 2012). Em concentração maior que 11,1 mmol L⁻¹ NH_4^+ , na solução nutritiva, pode induzir o agravamento dos sintomas de toxicidade amoniacal e a morte das brássicas, mas existe a necessidade de estudos complementares.

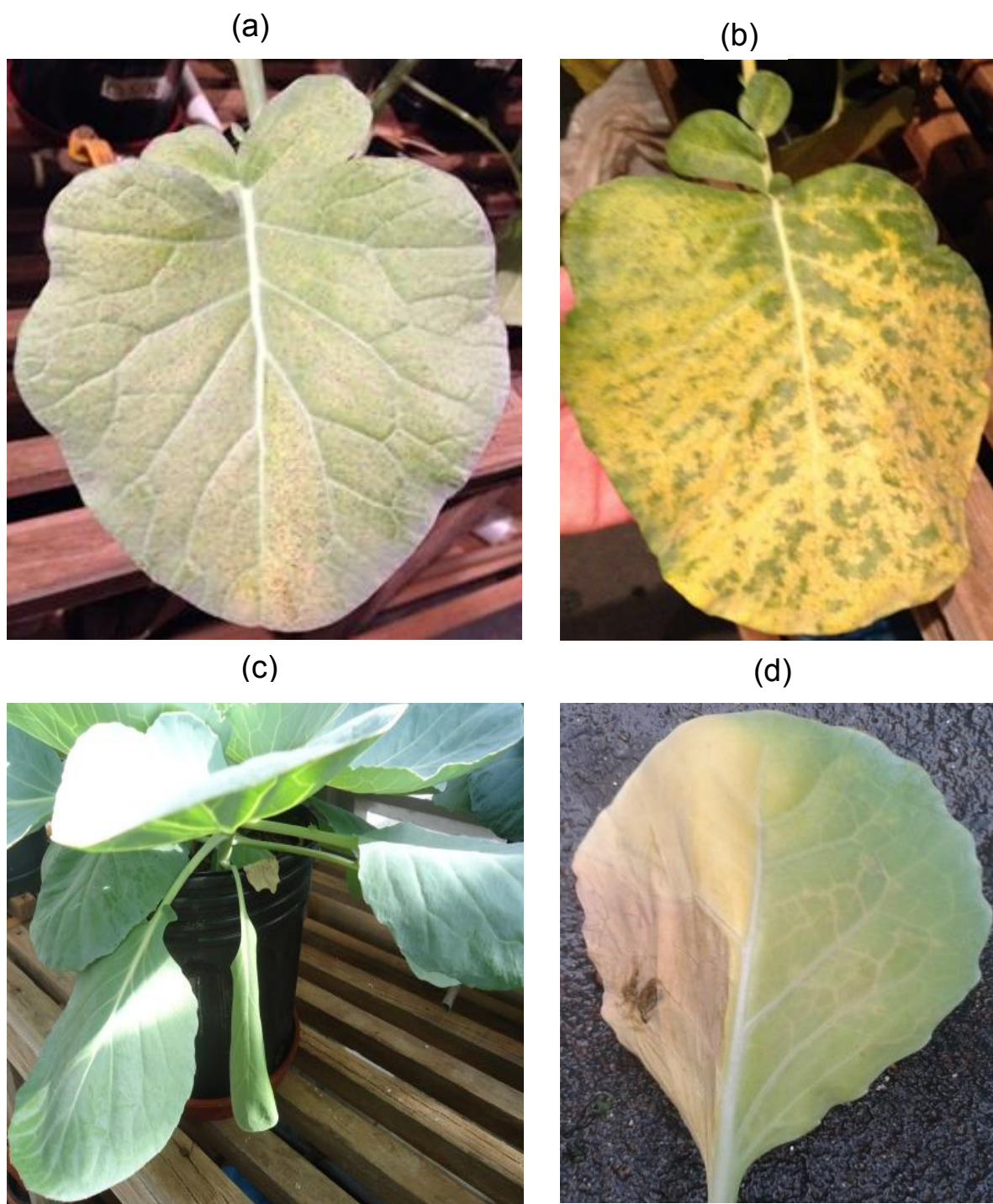


Figura 7. Sintomas de excesso de amônio na planta de brócolis que se inicia com pontos cloróticos no limbo foliar (a), evoluindo para clorose das folhas velhas (b) e na planta de repolho se inicia com perda de turgidez da folha (c), evoluindo para clorose e necrose acentuada em um dos lados das folhas mais velhas (d).

5. CONCLUSÕES

O fornecimento de Si na solução nutritiva potencializa a resposta no crescimento das plantas de brócolis ao amônio, não havendo efeito em repolho.

Para o cultivo do brócolis e do repolho, são indicadas as concentrações de amônio de 8,6 e 7,3 mmol L⁻¹, respectivamente, associadas ao silício apenas para o brócolis.

6. REFERÊNCIAS

AMBROSONE, C. B.; MCCANN, S. E.; FREUDENHEIM, J. L.; MARSHALL, J. R.; ZHANG, Y.; SHIELDS, P. G. Breast cancer risk in premenopausal women is inversely associated with consumption of broccoli, a source of isothiocyanates, but is not modified by GST genotype. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 134, n. 5, p. 1.134-1.138, 2004.

AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S.; LADEIRA, I. R. Características produtivas do repolho e função de espaçamento e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p.266-270, 2005a. Disponível em: < doi.org/10.1590/S0102-0536200500020 0020>.

ARAÚJO, M. S. **Plasticultura de hortaliças para região tropical chuvosa**. 1998. 34 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Administração) – Faculdade de Ciências da Administração de Pernambuco, Belém, 1998.

ARIZ, I.; ARTOLA, E.; ASENSIO, A. C.; CRUCHAGA, S.; APARICIO-TEJO, P. M.; MORAN, J. F. High irradiance increases NH_4^+ tolerance in *Pisum sativum*: higher carbon and energy availability improve ion balance but not N assimilation. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 168, p. 1.009-1.015, 2011. Disponível em: < doi:10./j.plph .2010 .11.022>.

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 Agrônomo de Campinas, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BITTSÁNSZKY, A.; PILINSZK, K.; GYULAI, G.; KOMIVES, T. Overcoming ammonium toxicity. **Plant Science**, Limerick, v. 231, n. 4, p.184-190, 2015.

BITYUTSKII, N.; PAVLOVIC, J.; YAKKONEN, K.; MAKSIMOVIC, V.; NIKOLIC, M. Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. **Plant Physiology and Biochemistry**, Jena, v.74, p. 205-211, 2014. Disponível em:< doi:10.1016/j.plaphy.2013.11.015 >.

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.

BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 159, n. 1, p. 567–584, 2002. Disponível em:<doi:10.1078/0176-1617-0774>.

BRITTO, D.T.; SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M.; KRONZUCKER, H. J. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: A cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. **National Academy of Sciences**, Washington, v. 98, n. 7, p.4255-4258, 2001. Disponível em:<doi:http://www.jstor.org/stable/3055403>.

BYBORDI, A. Effect of ascorbic acid and silicium on photosynthesis, antioxidante enzyme activity, and fatty acid contents in canola exposure to salt stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Beijing, v. 11, n. 10, p. 1.610-1.620, 2012. Disponível em:<10.1016/S2095-3119(12)60164-6>.

BYBORDI, A. Influence of NO_3^- : NH_4^+ ratios and silicon on growth, nitrate reductase activity and fatty acid composition of canola under saline conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 5, n. 15, p. 1.984 -1.992, 2010. Disponível em: < doi: 10.5897/AJAR09.064>.

CAMPOS, C. N. S.; PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; LIMA NETO, A. J.; MARQUES, L. J. P.; CHAVES, A. P.; CRUZ, C. A. Use of silicon in mitigating ammonium toxicity in maize plants. **American Journal of Plant Sciences**, Irvine, v.6, n.11, p.1.780-1.784, 2015. Disponível em:<doi: 10.4236/ajps.2015.611178 >.

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/Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 196-199, 2001.

CARNEIRO, I. F.; **Competição entre a cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) e a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo misto e em diferentes densidades de população**. 1981. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

CECÍLIO FILHO, A. B.; PRADO, R. M. Diagnose foliar das culturas da couve-flor, do brócolos e do repolho. In: PRADO, R. M. et al. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2010. cap. 13, p. 272-302.

CECÍLIO FILHO, A. B.; SCHIAVON JÚNIOR, A. A.; CORTEZ, J. W. M. Produtividade e classificação de brócolos para indústria em função da adubação nitrogenada e potássica e dos espaçamentos entre plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n.1 p.12-17, 2012. Disponível em:< doi.org/10.1590/S0102-05362012000100003>.

CRUZ, J. L.; ALVES, A. A. C.; LECAIN, D. R.; ELLIS, D. D.; MORGAN, J. A. Effect of elevated CO_2 concentration and nitrate: ammonium ratios on gas exchange and growth of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 374, n.1, p. 33-43, 2014. Disponível em:< 10.1007/s11104-013-1869-8>.

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. 3, p. 233–243, 2011. Disponível em: < doi: 10.1016/j.envexpbot.2010.09.014 >.

DIN, M.; QASIM, M.; ALAM, M. Effect of different levels of N, P and K on the growth and yield of cabbage. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 45, p.171-176, 2007.

DING, X.; ZHANG, S.; LI, S.; LIAO, X.; WANG, R. Silicon mediated the d of Cr on pakchoi (*Brassica Chinensis* L.) in cr-contaminated soil. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v.18, p.58-67, 2013. Disponível em:< doi:10.1016/j.proenv.2013.04.009 >.

EPSTEIN, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**, Wellesbourne, v.155, p.155-160, 2009.

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

EVERAARTS, A. P.; WILLIGEN, P. The effects of the rate and method of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by broccoli. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.47, 201-214, 1999.

FENG, J.; SHI, Q.; WANG, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 123, n. 4, p. 521-530, 2010. Disponível em:<doi:10.1016/j.scienta.2009.10.013 >.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1.039-1.042, 2011.

FERREIRA, S.; SOUZA, R. J.; GOMES, L. A. A. Produtividade de brócolis de verão com diferentes doses de bokashi. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, p.31-38, 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000. p.402.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008. p.421.

GERENDÁS, J.; ZHU, Z.; BENDIXEN, R.; RATCLIFFE, R. G.; SATTELMACHER, B. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 160, n. 2, p. 239–251, 1997. Disponível em:<doi: 10.1002/jpln.19971600218 >.

GRIFFITHS, D. W.; BIRCH, A. N. E.; HILLMAN, J. R. Antinutritional compounds in the Brassicaceae: analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Invergowrie, v.73, n.1, p.1-18, 1998.

GRILLI, G. V. G; CINTRA, A. A. D.; BRAZ, L. T.; FRACASSO, J. V.; SILVA, F. L. Desempenho de híbridos de brócolos em casa de vegetação no verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife-PE. **Anais...** p. 359

HACHIYA, T.; WATANABE, C. K.; FUJIMOTO, M.; ISHIKAWA, T.; TAKAHARA, K.; KAWAI-YAMADA, M.; UCHIMIYA, H.; UESONO, Y.; TERASHIMA, I.; 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**, Kyoto, v.53, n.3, p.577-591, 2012. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1093/pcp/pcs012>>.

HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVÁ, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v.123, p.459-466, 2005. Disponível em :<[doi: 10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x](https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x)>.

HELALI, S. M.; NEBLI, H.; KADDOUR, M.; MAHMOUDI, H.; LACHAÂL, M.; OUERGHI, A. Influence of nitrate-ammonium ratio on growth and nutrition of *Arabidopsis thaliana*, **Plant and Soil**, Dordrecht, v.336, p.65-74, 2010.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. p. 347.

HU, L.; YU, J.; LIAO, W.; ZHANG, G.; XIE, J.; LV, J.; XIAO, X.; YANG, B.; ZHOU, R.; BU, R. Moderate ammonium:nitrate alleviates low light intensity stress in mini Chinese cabbage seedling by regulating root architecture and photosynthesis. **Scientia Horticulturae**, New York, v. 186, p. 143-153, 2015.143-153. Disponível em:<[doi:10.1016/j.scienta.2015.02.020](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.020)>.

HUANG, S. W.; JIN, J. Y.; YANG, L. P.; BAI, Y. L.; LI, C. H. Spatial variability of nitrate in cabbage and nitrate-N in soil. **Soil Science**, Philadelphia, v. 169, n.9, p.640-649, 2004.

HUBER, D.M. The influence of mineral nutrition on vegetable diseases. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 12, p. 206-214, 1994.

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, p. 10-16, 2012. Disponível em:<[doi:10.1016/j.aquabot.2011.10.004](https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2011.10.004)>.

KANO, Y.; NAKAGAWA, H.; SEKINE, M.; GOTO, H.; SUGIURA, A. Effect of nitrogen fertilizer on cell size and sugar accumulation in the leaves of cabbage (*Brassica oleracea* L.). **HortScience**, Alexandria, v.42, n.6, p.1.490–1.492, 2007.

KOCHANOVÁ, Z.; JAŠKOVÁ, K.; SEDLÁKOVÁ, B.; LUXOVÁ, M. Silicon improves salinity tolerance and affects ammonia assimilation in maize roots. **Biologia**, São Paulo, v. 69, n. 9, p. 1.164-1.171, 2014.

KRASKA, J. E.; BREITENBECK, G. A. Simple, robust method for quantifying silicon in plant tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 41, n. 17, p. 2.075-2.085, 2010. Disponível em:<doi:10.1080/00103624.2010.498537>.

LALLA, J. G.; LAURA, V. A.; RODRIGUES, A. P. D. C.; SEABRA JÚNIOR, S.; SILVEIRA, D. S.; ZAGO V. H.; DORNAS, M. F. Competição de cultivares de brócolos tipo cabeça única em Campo Grande. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 360-363, 2010. Disponível em:<doi.org/10.1590/S0102-0536 20100 00300 020>.

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:<doi:10.1016/j.tplants.2013.09.004>.

LI, S.; WANG, Z.; STEWART, B. A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate. In: SPARKS, D. L. **Advances in agronomy**. Newark: Elsevier, 2013. cap. 118, p. 205-397.

LIANG, Y.; SUN, W.; ZHU, Y. G.; CHRISTIE, P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: A review. **Environmental Pollution**, Barking, v. 147, n. 2, p. 422-428, 2007. Disponível em:<doi:10.1016/j.envpol.2006.06.008>.

LOQUÉ, D.; WIRÉN, N. V. Regulatory levels for the transport of ammonium in plant roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 401, p. 1.293-1.305, 2004. Disponível em:<doi: 10.1093/jxb/erh147>.

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:<doi: 10.1080/00380768.2004.10408447>.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 638.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. Oxford: Elsevier, 2012. 643 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. p. 889.

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

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: < doi.org/10.1080/01904167.2014.920379 >.

MOREIRA, M. A.; VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, M. R. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n.1, p. 117-121, 2011.

NEUBERG, M.; PAVLÍKOVÁ, D.; PAVLÍK, M.; BALÍK, J. The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. **Plant Soil Environment**, Praga, v.56, n.7, p.305–311, 2010.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SOUSA, E. F. **Efeito de adubos de solubilidade lenta na produtividade de repolho e erva-doce consorciados em sistema orgânico de produção**. Aracaju: Embrapa CPATC, 2009. 24 p. (Documentos, 51).

PRADO, R. M. Nitrogênio. In: PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2008. cap. 4, p. 83-120.

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: <doi:10.1016/j.scienta.2009.03.004 >.

ROOSTA, H. R.; SCHJOERRING, J. K. Effects of Ammonium Toxicity on Nitrogen Metabolism and Elemental Profile of Cucumber Plants. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.30, n.11, p.1.933-1.951, 2007. Disponível em: < doi:10.1080/01904160701629211 >.

SANTOS, M. A. T. **Caracterização química das folhas de brócoli e couve-flor (Brassica oleracea L.) para utilização na alimentação humana**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SCHALLER, J.; BRACKHAGE, C.; GESSNER, M. O.; BAUKER, E.; DUDEL, E. G. Silicon supply modifies C:N:P stoichiometry and growth of *Phragmites australis*. **Plant Biology**, New York, v.14, p. 392–396, 2012. Disponível em: < doi:10.1111/j.1438-8677.2011.00537.x >.

SCHIAVON JÚNIOR, A. A. **Produtividade e qualidade de brócolos em função da adubação e espaçamento entre plantas**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

SEABRA JÚNIOR, S. **Influência de doses de nitrogênio e potássio na severidade à podridão-negra e na produtividade de brócolis tipo inflorescência única**. 2005. 81 f. Tese (Doutorado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SILVA JÚNIOR, G. B. **Relação amônio e nitrato, mitigação da toxicidade amoniacal com silício e curva de acúmulo de nutrientes em mudas de maracujazeiro**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.

SILVA JÚNIOR, A. A. Efeitos da adubação mineral e orgânica em repolho. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, n. 4, p. 53-56, 1991.

SIQUEIRA, R. G.; SILVA, R. H. S.; PERIGOLO, D.; URQUIAGA, S.; RIBAS, R. G. T.; NELLI, L. A. P. Nutrição nitrogenada e produção de brócolis cultivado com diferentes doses de mucuna em duas épocas. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n.6, p. 826-833, 2009.

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.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; POCA, V. G. Níveis de adubação nitrogenada nas características morfológicas e produtivas do jiló. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, p.167-170, 2003.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. Hortaliças In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

TREVISAN, J. N.; MARTINS, G. A.; LÚCIO, A. D.; CASTAMAN, C.; MARION, R. R.; TREVISAN, B. G. Rendimento de cultivares de brócolis semeadas em outubro na região centro do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.2, p. 233-239, 2003. Disponível em:<doi.org/10.1590/S0103-84782003000200009>.

VATEHOVÁ, Z.; KOLLÁROVÁ, K.; ZELKO, I.; RICHTEROVÁ-KUČEROVÁ, D.; BUJDOŠ, M.; LIŠKOVÁ, D. Interaction of silicon and cadmium in *Brassica juncea* and *Brassica napus*. **Biologia**, São Paulo, v. 67, n.3, p. 498-504, 2012. Disponível em:<doi: 10.2478/s11756-012-0034-9>.

WONG, M. Visual symptoms of plant nutrient deficiencies in nursery and landscape plants. **Soil and Crop Management**, Quebec, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2005.

YAMADA, T. Resistência de plantas às pragas e doenças. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.108, p.1-7, 2004.

YANG, H.; YANG, J.; LV, Y.; HE, J. SPAD values and nitrogen nutrition index for the evaluation of rice nitrogen status. **Plant Production Science**, Kyoto, v. 17, n. 1 p. 81-92, 2014. Disponível em:<doi: 10.1626/pp.s.17.81>.

ZHANG, F.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, J. Growth and major nutrient concentrations in *Brassica campestris* supplied with different $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios. **Journal of Integrative Plant Biology**, Malden, v. 49, n. 4, p. 455-462, 2007.