

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE SILÍCIO SOLÚVEL VIA SOLO E FOLIAR NA  
CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB  
DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**CRISTIANE PILON**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP  
Dezembro – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DE SILÍCIO SOLÚVEL VIA SOLO E FOLIAR NA  
CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB  
DEFICIÊNCIA HÍDRICA**

**CRISTIANE PILON**

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU - SP  
Dezembro – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P643a Pilon, Cristiane, 1985-  
Aplicação de silício solúvel via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) sob deficiência hídrica / Cristiane Pilon. - Botucatu : [s.n.], 2011  
vi, 65 f. : il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011

Orientador: Rogério Peres Soratto  
Inclui bibliografia

1. Batata - Produtividade. 2. Clorofila. 3. Enzimas antioxidantes. 4. Silício na agricultura. 5. Deficiência hídrica. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "APLICAÇÃO DE SILÍCIO SOLÚVEL VIA SOLO E FOLIAR NA  
CULTURA DA BATATA (*Solanum tuberosum* L.) SOB DEFICIÊNCIA  
HÍDRICA"

ALUNA: CRISTIANE PILON

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovado pela Comissão Examinadora



---

PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



---

PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



---

PROF. DR. RMFAEL VASCONCELOS RIBEIRO

Data da Realização: 02 de dezembro de 2011.

Às mulheres da minha vida, Iolanda (avó), Marli (mãe)  
e Lucimeire (irmã). Meus amores, minha história,  
minha família.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela oportunidade desta vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela imensa orientação, amizade, ensinamentos e exemplo de profissional.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, por tornar possível a realização dessa pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro dessa pesquisa por meio de bolsa de estudo.

Aos estagiários Letícia Moreno e Murilo Albertin, pela ajuda na condução do experimento, pela amizade e por tornar os dias de trabalho mais animados.

Ao Prof. João Carlos Cury Saad, pelo auxílio nos cálculos da irrigação e ao funcionário do Departamento de Engenharia Rural, Gilberto Winckler, pela confecção dos tensiômetros.

Ao Prof. Fernando Broetto e à amiga Renata Coscolin, pela orientação e ajuda nas análises bioquímicas.

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela amizade e sugestões na condução do experimento.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Agricultura, Verinha, Lana, Célio, Valdemir (Fio), Matheus, Casemiro, Aparecido, Camargo, Cirinho, Valéria e Rubens pela colaboração, de alguma forma, durante a realização do Mestrado.

Ao amigo Dorival Arruda e às técnicas Alessandra e Gabriela pela ajuda nas análises laboratoriais.

Aos amigos de Pós Graduação, Adalton, Carol, Emerson, Gabriela, Genivaldo, Laerte, Livia, Patrícia, Priscila e Samuel, pela ajuda durante a condução do experimento.

Aos meus irmãos Eldinho e Rafael pelo incentivo, sempre.

E por fim, a todos os amigos que contribuíram de alguma forma para a concretização desse trabalho e/ou fizeram dos meus dias, mais alegres.

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1. RESUMO.....  | 4             |
| 2. SUMMARY.....   | 6             |
| 3. INTRODUÇÃO.....  | 8             |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                       | 10            |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS.....  | 18            |
| 5.1 Localização.....  | 18            |
| 5.2 Delineamento experimental e tratamentos.....                    | 18            |
| 5.3 Cultivar utilizada.....   | 19            |
| 5.4 Instalação e condução do experimento.....                       | 19            |
| 5.5 Avaliações realizadas.....                                      | 22            |
| 5.5.1 Avaliações que foram realizadas aos 40 DAE (tuberização)..... | 23            |
| 5.5.2 Avaliações que foram realizadas aos 60 DAE.....               | 27            |
| 5.5.3 Avaliações que foram realizadas no final do ciclo.....        | 28            |
| 5.6 Análise estatística.....  | 29            |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                      | 30            |
| 6.1 Resultados das avaliações realizadas 40 DAE.....                | 31            |
| 6.2 Resultados das avaliações realizadas 60 DAE.....                | 46            |
| 6.3 Resultados das avaliações realizadas no final do ciclo.....     | 49            |
| 7. CONCLUSÕES.....  | 56            |
| 8. REFERÊNCIAS.....   | 57            |

**LISTA DE FIGURAS**

| <b>Figura</b>   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| 1. Efeito de formas de aplicação de Si no teor desse elemento no solo, após a colheita da batata. Letras distintas são indicativo de diferença significativa pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação: 21,6%. ....   | 30            |
| 2. Produtividade total de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. Letras distintas, minúsculas dentro do fator tensão de água no solo e maiúsculas dentro do fator formas de aplicação de Si, são indicativo de diferença significativa pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. .... | 52            |



## LISTA DE TABELAS

| <b>Tabela</b>  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. Características químicas do solo antes da correção.....   | 20            |
| 2. Características químicas do solo após a correção. ....  | 20            |
| 3. Tratamento fitossanitário empregado durante a condução do experimento.....  | 22            |
| 4. Características químicas do solo após a colheita da batata. Média de oito repetições.....   | 22            |
| 5. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de hastes por planta (NHP), comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) e acamamento (AC) em plantas de batata aos 40 DAE. ....      | 31            |
| 6. Comprimento médio de hastes (CMH) e comprimento da haste mais alta (CHA) de plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....  | 32            |
| 7. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de folhas na maior haste (NFP), número total de folhas por planta (TFP), área foliar (AF) e Kteor relativo de água na folhas de plantas de batata aos 40 DAE..... | 33            |
| 8. Área foliar de plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e das formas de aplicação de Si.....  | 34            |
| 9. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e carotenóides em plantas de batata aos 40 DAE.....   | 35            |
| 10. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor de prolina e na atividade das enzimas SOD, CAT e APX em plantas de batata aos 40 DAE. ....   | 36            |
| 11. Teor de prolina e atividade das enzimas SOD, CAT e APX em plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....  | 37            |
| 12. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na matéria seca de folhas, hastes, raízes e tubérculos em plantas de batata aos 40 DAE.....  | 38            |
| 13. Matéria seca de folhas, hastes e raízes de plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....  | 39            |
| 14. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor e quantidade acumulada de Si nas folhas, hastes, raízes e tubérculos (Tub.) em plantas de batata aos 40 DAE. ....  | 40            |

|  |    |
|--|----|
| 15. Teor e quantidade acumulada de Si nas folhas, hastes, raízes e tubérculos de plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....   | 41 |
| 16. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) em plantas de batata aos 40 DAE.....                                       | 43 |
| 17. Teores dos nutrientes P, Ca, S e Mn em plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....   | 44 |
| 18. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na quantidade acumulada dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) em plantas de batata aos 40 DAE. ....                         | 45 |
| 19. Acúmulo de nutrientes (K, Ca, Mg, Mn e Zn) em plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....  | 45 |
| 20. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de hastes por planta (NHP), comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) e acamamento (AC) em plantas de batata aos 60 DAE. .... | 46 |
| 21. Comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) em plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....  | 47 |
| 22. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no solo no número de folhas na haste principal (NFP) e no número total de folhas por planta (TFP) em plantas de batata aos 60 DAE.....                                 | 47 |
| 23. Número de folhas na haste principal (NFP) de plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....  | 48 |
| 24. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e carotenóides na terceira folha e na nona folha a partir do ápice de plantas de batata aos 60 DAE.....          | 48 |
| 25. Teores de clorofila <i>a</i> , clorofila <i>b</i> e carotenóides na 9ª folha de plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.....   | 49 |
| 26. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de tubérculos das classes Graúda, Primeira, Segunda e total de tubérculos em plantas de batata.....  | 51 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 27. | Número de tubérculos da classe Primeira em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....   | 51 |
| 28. | Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na produtividade total e das classes Graúda, Primeira e Segunda de tubérculos em plantas de batata.....        | 52 |
| 29. | Produtividade das classes Graúda e Primeira de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....                                   | 52 |
| 30. | Produtividade relativa de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....  | 53 |
| 31. | Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor de matéria seca, proteína bruta e Si nos tubérculos de plantas de batata, na ocasião da colheita. .... | 54 |
| 32. | Teor de matéria seca, teor e acúmulo de Si em tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. ....                                    | 55 |

## 1. RESUMO

Efeitos benéficos do silício (Si) têm sido demonstrados em muitas culturas, principalmente sob condições de estresses. Sendo a cultura da batata muito sensível à deficiência hídrica, é possível que o fornecimento de Si, via solo ou foliar, possa minimizar o efeito do estresse hídrico em processos bioquímicos da planta e, conseqüentemente, promover aumento de produtividade da cultura. Contudo, o efeito do fornecimento de Si à cultura da batata e sua relação com a resposta da cultura à deficiência hídrica ainda não são bem entendidos. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do fornecimento de Si, via solo e via foliar, no teor de nutrientes, Si e prolina, na atividade de enzimas ligadas ao sistema de respostas antioxidativas, no crescimento e na produtividade de plantas de batata (cv. Ágata) cultivadas com e sem deficiência hídrica. Para tanto, foi conduzido um experimento em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num arranjo fatorial de 3x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por: testemunha (sem aplicação de Si), aplicação de Si via solo e aplicação de Si via foliar, combinados com duas tensões de água no solo: 0,020 MPa (sem deficiência hídrica) e 0,060 MPa (com deficiência hídrica). A deficiência hídrica reduziu o teor relativo de água na folha, o teor de clorofila *a* e carotenóides nas folhas mais velhas, a área foliar, o acúmulo de matéria seca, o acúmulo de Si e nutrientes e a produtividade e o tamanho de tubérculos e aumentou o acamamento das hastes e o teor de prolina. Independente da disponibilidade hídrica, a aplicação de Si via solo ou via foliar aumentou o número de folhas por planta, o teor de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides aos 40 dias após a emergência (DAE) e o número de tubérculos da classe Graúda. O

fornecimento de Si via solo aumentou o teor de Si e de prolina. A aplicação de Si via foliar também aumentou o teor de prolina e a atividade da SOD em plantas sob deficiência hídrica. O fornecimento de Si via solo foi mais eficiente em manter o teor de clorofila *a*, com conseqüente aumento de produtividade de tubérculos, sob deficiência hídrica.

---

**Palavras chave:** *Solanum tuberosum*, silício, enzimas antioxidantes, seca, clorofila, produtividade.

SOIL AND FOLIAR APPLICATION OF SILICON ON POTATO CROP (*Solanum tuberosum* L.) UNDER DROUGHT STRESS. Botucatu, 2011. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CRISTIANE PILON

Advisor: ROGÉRIO PERES SORATTO

## 2. SUMMARY

Research has indicated that silicon (Si) has beneficial effects on many crops, mainly under stress conditions. Potato plants have been reported to be quite sensitive to water-deficit stress. However, the effect of Si supply on potato crop and its response to drought stress are not well understood. Therefore, the objective of this study was to determine the effect of Si application, soil and foliar, on plant nutrients concentrations, Si and proline concentration, antioxidant enzyme activities, as well as growth and yield of potato plants (cv. Ágata) either exposed or not to water-deficit stress. It was hypothesized that Si application, soil or foliar, would alleviate the negative effects of drought on plant biochemical functions and consequently, increase potato yield. To test this hypothesis, a greenhouse experiment was conducted. The experimental design was a 3x2 factorial completely randomized block design, with four replications. The treatments consisted of control (no Si application), Soil Si application and Foliar Si application, in combination with two water tension on soil: 0.020 MPa (absence of water stress) and 0.060 MPa (presence of water stress). The results indicated that water-deficit stress resulted in significant decreases in the water relative content of leaves as well as in chlorophyll *a* and carotenoids concentration of older leaves. Total leaf area and dry matter as well as yield and tuber size were also decreased compared to the well-watered condition. In addition water-deficit stress resulted in lower Si and nutrients accumulation and increased the stem lodging and proline concentration compared to the control. Regardless of water availability, soil or foliar Si application increased the number of leaves per plant, chlorophyll (*a* and *b*) and carotenoids concentration at 40 days after emergence (DAE) as well as number

of tubers with diameter greater than 45 mm. Soil Si application increased Si and proline concentration. Foliar Si application, similarly increased proline concentration and SOD activity in plants under drought stress. Soil Si supply was the most effective in maintaining chlorophyll *a* concentration, and increasing potato tuber yield under drought stress.

---

**Key words:** *Solanum tuberosum*, silicon, antioxidant enzymes, drought, chlorophyll, yield.

### 3. INTRODUÇÃO

A eficiência produtiva da cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) garante elevado aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos, característica importante num cenário mundial de constante crescimento populacional e insegurança alimentar.

Nessa cultura, a deficiência de água é frequentemente o fator mais limitante para a obtenção de altas produtividades. A sensibilidade da batateira ao estresse hídrico é atribuída principalmente ao seu sistema radicular curto e superficial, que torna a planta pouco eficiente em absorver água (GREGORY e SIMMONDS, 1992). Assim, curtos períodos de deficiência hídrica podem inibir a fotossíntese, devido a alterações no teor de clorofila, danos no aparato fotossintético e redução da condutância estomática da folha, além de modificar a atividade de algumas enzimas e o acúmulo de açúcares e proteínas na planta e reduzir a absorção de nutrientes, o que pode resultar em menor crescimento, produtividade e qualidade de tubérculos (NADLER e HEUER, 1995; ZHU et al., 2004; HATTORI et al., 2005; GONG et al., 2005, GUNES et al., 2008b).

O silício (Si) não é considerado elemento essencial, do ponto de vista fisiológico e metabólico, para o crescimento e desenvolvimento das plantas (EPSTEIN, 1999). Mesmo assim, o aumento de sua disponibilidade ao sistema radicular de algumas espécies tem revelado efeitos benéficos, dentre os quais destacam-se o menor coeficiente de transpiração com melhor aproveitamento da água, maior teor de clorofila, maior rigidez estrutural dos tecidos com aumento da resistência mecânica das células, folhas mais eretas, área



fotossintética maior e aumento na absorção de CO<sub>2</sub>, diminuição do auto sombreamento, menor acamamento, aumento no número de folhas e na matéria seca e atraso na senescência e redução dos danos causados por estresses à células e ao aparato fotossintético. Assim, vários trabalhos têm demonstrado efeitos significativos no crescimento e na produtividade de diversas espécies de plantas, especialmente quando submetidas a algum tipo de estresse, seja esse de natureza biótica ou abiótica (MA, 2004; ZHU et al., 2004; GONG et al., 2005; GUNES et al., 2007a,b; 2008a; HATTORI et al., 2005; 2008).

Mesmo não sendo considerada cultura acumuladora de Si, o fornecimento desse elemento pode reduzir os efeitos prejudiciais da deficiência hídrica na cultura da batata, como observado por Pulz et al. (2008) e Crusciol et al. (2009). Porém, Datnoff et al. (2001) afirmam que o Si é pouco móvel no interior das plantas. Nesse sentido, o fornecimento de Si via aplicação foliar, utilizando pequenas quantidades desse elemento, pode suprir a necessidade de Si e estimular seus efeitos benéficos (MENZIES et al., 1992; WANG e GALLETA, 1998; BUCK et al., 2008).

Contudo, as informações sobre os efeitos do fornecimento de Si, especialmente em dicotiledôneas, como a cultura da batata, bem como o seu fornecimento via foliar, ainda são muito incipientes. Dessa forma, a comprovação da eficiência do fornecimento de Si via solo ou via foliar para a cultura da batata, bem como o entendimento de sua ação na fisiologia da planta, são importantes no sentido de promover redução dos custos de produção e aumento de produtividade.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do fornecimento de Si, via solo e via foliar, no teor de nutrientes, de Si e prolina, na atividade de enzimas ligadas ao sistema de respostas antioxidativas, no crescimento e na produtividade de plantas de batata (cv. Ágata) cultivadas sem e com deficiência hídrica.

#### 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A batata é a quarta cultura em ordem de importância mundial. Cultivada em mais de 125 países e consumida por mais de um bilhão de pessoas, é uma fonte cada vez mais importante de alimento, pois fornece proteína de alta qualidade, vitaminas e sais minerais, além de proporcionar energia oriunda dos carboidratos. A cultura da batata apresenta grande eficiência produtiva, o que garante elevado aproveitamento de áreas destinadas à produção de alimentos. A produção da batata no Brasil, em 2010, alcançou 3,6 milhões de toneladas em 137 mil hectares, com produtividade média de  $25,9 \text{ t ha}^{-1}$ , segundo IBGE (2011). Hoje, os principais Estados brasileiros produtores são Minas Gerais, São Paulo e Paraná. No Estado de São Paulo, as maiores regiões produtoras são a de Vargem Grande do Sul, na região Nordeste, e a de Itapetininga no Sudoeste (IBGE, 2011).

O sistema radicular da batateira é delicado e superficial, com raízes concentrando-se até 30 cm de profundidade. Apresenta caules aéreos, herbáceos, e suas raízes originam-se na base desses caules e hastes. Também possui caules subterrâneos adaptados para reserva e reprodução chamados de tubérculos, que é a parte da planta de interesse biológico e econômico (FILGUEIRA, 2000; FORTES e PEREIRA, 2003).

A batata é considerada como uma cultura exigente em água, sendo altamente sensível ao estresse hídrico, ou seja, tanto a falta quanto o excesso (KLASSEN et al., 2006). Segundo Wright e Stark (1990), a baixa tolerância à seca da batateira deve-se ao fato de as plantas apresentarem sistema radicular superficial e pouco ramificado e à tendência de fechamento dos estômatos inclusive sob condições de déficit hídrico moderado ( $\Psi_{\text{folha}}$ : - 0,8 a

- 1,0 MPa). Assim, a cultura depende de suprimento adequado de água durante todo o seu desenvolvimento, existindo correlação direta entre disponibilidade de água no solo e produtividade (MAROUELLI e GUIMARÃES, 2006).

O crescimento celular é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à seca, devido à redução da turgescência (TAIZ e ZEIGER, 2010). Sob severa deficiência hídrica, o alongamento celular de plantas superiores pode ser inibido pela interrupção do fluxo de água do xilema para os arredores das células em alongamento. Mitose e expansão celular prejudicadas resultam em redução no crescimento radicular, na absorção de nutriente, na altura da planta, área foliar e crescimento da cultura sob deficiência hídrica (NONAMI, 1998; GUNES et al., 2008b).

Uma grande consequência do déficit hídrico em culturas, no geral, é a redução na fotossíntese, sendo a primeira resposta o fechamento dos estômatos para prevenir a perda de água por transpiração (MANSFIELD e ATKINSON, 1990). Isto ocorre em resposta à redução da turgescência e potencial água (LUDLOW e MUCHOW, 1990), com consequente redução na expansão das folhas, o mecanismo fotossintético é prejudicado, ocorre senescência prematura de folhas e consequente redução na produtividade (WAHID e RASUL, 2005). Alguns estudos indicaram que o estresse hídrico afeta os pigmentos e componentes fotossintéticos (ANJUM et al., 2003), danifica o aparelho fotossintético (FU e HUANG, 2001) e diminui as atividades das enzimas do ciclo de Calvin, que são causas importantes da redução de produtividade das culturas (MONAKHOVA e CHERNYADÈV, 2002).

Os pigmentos fotossintéticos são importantes, pois participam de processos na absorção de energia luminosa para posterior conversão dessa energia em ATP e NADPH. Dentre eles, os pigmentos encontrados em plantas são a clorofila *a*, a clorofila *b* e os carotenóides. A clorofila *a* é a principal responsável pela coloração verde das plantas e pela realização da fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2010). A clorofila *b* é um pigmento que ajuda a ampliar a faixa de absorção de luz que pode ser usada na fotossíntese. Essa clorofila é auxiliar da clorofila *a*, transferindo a energia captada para as moléculas que realizarão a fotossíntese (RAVEN, 1983). Sob alta intensidade luminosa, frequentemente encontrada na natureza, as plantas podem absorver mais energia luminosa que realmente usam para a fotossíntese. A excitação excessiva das clorofilas pode resultar em aumento da formação de clorofila triplete e oxigênio singleto. O dano causado pelo oxigênio singleto e seus produtos reativos pode reduzir a eficiência da fotossíntese através de um processo chamado fotoinibição. Se a

biossíntese de carotenóides é bloqueada através da adição de inibidores ou por mutação e a planta é exposta a ambiente com alta intensidade luminosa na presença de  $O_2$ , concentrações letais de oxigênio singleto serão formadas. Os carotenóides são capazes de aceitar a energia de excitação da clorofila triplete e assim ajudar a prevenir a formação de oxigênio singleto (MALKIN e NIYOGI, 2000). Várias pesquisas têm demonstrado redução nos teores dos pigmentos fotossintéticos em diferentes culturas, tais como trigo, grão de bico e girassol, sob deficiência hídrica (NIKOLAEVA et al., 2010; MAFAKHERI et al., 2010; MANIVANNAN et al., 2007).

Hang e Miller (1986), investigando as respostas fisiológicas da cultura da batata ao estresse hídrico, observaram redução no tamanho das plantas, no número de folhas, na taxa de crescimento da cultura e na taxa de crescimento do tubérculo. Além disso, o déficit hídrico favorece o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, como os radicais superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e radicais hidroxila (OH), que danificam as plantas pela oxidação dos pigmentos fotossintéticos e destruição dos lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (REDDY et al., 2004). Para eliminar essas espécies reativas de oxigênio, as enzimas antioxidantes, tais como a superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase entram em atividade. Os radicais superóxido ( $O_2^-$ ) são eliminados pela superóxido dismutase numa reação que produz peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). O peróxido de hidrogênio é consumido através da sua conversão em oxigênio e água pela catalase ou somente em água através da oxidação do ascorbato. O ascorbato é regenerado por dois mecanismos. A redução enzimática do monodehidroascorbato ocorre nos plastídios. Alternativamente, o monodehidroascorbato que é espontaneamente dismutado para dehidroascorbato, pode reagir com a glutatona (GSH) para produzir ascorbato e glutatona oxidada (GSSG) numa reação catalisada pela dehidroascorbato redutase. A GSSG é reduzida pela glutatona redutase, requerendo o consumo de NADPH. O oxigênio singleto e os íons hidroxilas são eliminados na rota da glutatona. O dano causado tanto pelo oxigênio singleto quanto pelos íons hidroxilas é também reduzido pelos antioxidantes não enzimáticos, vitamina E e carotenóides (BRAY et al., 2000).

Sob condições de estresse, adicionalmente à produção de antioxidantes, ocorre também nas plantas o ajustamento osmótico celular através do acúmulo de solutos compatíveis no citosol (XIONG e ZHU, 2002). O termo “solutos compatíveis” pode incluir aminoácidos livres e seus derivados, betaína, poliaminas, proteínas e carboidratos solúveis e

polióis, e estes são altamente solúveis e não interferem no metabolismo celular, mesmo em altas concentrações (BRAY et al., 2000). Na maioria das plantas, o fenômeno da osmorregulação, através do acúmulo de osmólitos, tem como função diminuir o potencial osmótico da célula de forma a manter a turgescência e o crescimento (FUMIS et al., 2002). A prolina é um dos osmólitos compatíveis mais comuns em plantas sob deficiência hídrica. As concentrações de prolina são mantidas através da combinação da síntese e catabolismo do aminoácido (BRAY et al., 2000). Seu acúmulo pode representar um mecanismo regulador de perda de água mediante a redução do potencial hídrico celular (FUMIS et al., 2002), como também ser um marcador bioquímico de alterações metabólicas geradas por diferentes tipos de estresse (LIMA et al., 2004). O teor de prolina aumentou consideravelmente com o aumento da deficiência hídrica em plantas de trigo e grão de bico (NIKOLAEVA et al., 2010; MAFAKHERI et al., 2010).

O Si é o segundo elemento mais abundante no solo (ILER, 1979). Ele é acumulado nas plantas em nível equivalente ao de macronutrientes, como cálcio, magnésio e fósforo (EPSTEIN, 1999). Baseando-se nas definições de essencialidade dos nutrientes, em que um elemento só é considerado essencial se sua deficiência torne impossível para a planta completar os estádios vegetativos e reprodutivos do seu ciclo de vida; a deficiência é específica do nutriente em questão e pode ser prevenida ou corrigida somente com o suprimento deste elemento; e o elemento é diretamente envolvido na nutrição da planta, independente de seus possíveis efeitos na correção de alguma condição microbiológica ou química desfavorável do solo ou outros meios de cultivo, o Si não é considerado parte do grupo de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (ARNON e STOUT, 1939; EPSTEIN e BLOOM, 2005; EPSTEIN, 1999). Porém, Epstein (1999) o trata como “quase-essencial”. Sabendo de sua importância para as plantas, a ação benéfica do Si no crescimento, desenvolvimento, produção e resistência aos estresses bióticos e abióticos vem sendo estudada amplamente (MENZIES et al., 1992; KAY et al., 1998; WANG e GALLETA, 1998; MA, 2004; ZHU et al., 2004; GONG et al., 2005; GUNES et al., 2007a,b; 2008a,b; HATTORI et al., 2005; 2008; BUCK et al., 2008; PULZ et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2009).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: Si solúvel (ácido monossilícico,  $H_4SiO_4$ ), que desprovido de carga elétrica, tem interessantes consequências no comportamento da sílica com relação aos vegetais (RAIJ e

CAMARGO, 1973); e Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). A solubilidade destes minerais depende da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) em sua estrutura. A dissolução destes minerais é afetada, também, por fatores de solo tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de óxido-redução e teores de sesquióxidos (TONIN, 2005).

Muitas plantas, particularmente as monocotiledôneas, são capazes de acumular altos níveis de Si nas suas partes aéreas. Este se acumula nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca (MA e TAKAHASHI, 2002). A diferença na acumulação do Si entre as espécies tem sido atribuída às diferenças na habilidade de absorção do elemento pelas raízes. Dois diferentes modos de absorção de Si estão envolvidos no transporte radial de Si, da solução externa para as células corticais da raiz, podendo ocorrer através de transportadores, com gasto de energia, como é o caso do arroz, ou por difusão, sem gasto de energia, por exemplo, o pepino e o tomate. De forma similar, no transporte do Si das células corticais para o xilema, o carregamento do xilema de Si é mediado por um tipo de transportador, mas também pode ocorrer por difusão passiva. O acúmulo muito menor de Si em dicotiledôneas pode ser explicado pela menor densidade do transportador da solução externa para a célula cortical e um defeito ou ausência de um transportador de células corticais para o xilema (MA e YAMAJI, 2008). Contudo, recentes trabalhos demonstraram que o Si interfere positivamente no crescimento de dicotiledôneas, tais como: pepino (MIYAKE e TAKAHASHI, 1983; ZHU et al., 2004), alfafa (GUO et al., 2006), grão de bico (GUNES et al., 2007b), girassol (GUNES et al., 2008a,b), feijão caupi (MALI e AERY, 2009) e batata (CRUSCIOL et al., 2009).

De acordo com o teor de Si e relação Si/Ca na matéria seca, as plantas superiores podem ser divididas em três grupos: acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de Si. São consideradas acumuladoras aquelas que possuem teor foliar acima de 1% e plantas não acumuladoras aquelas com teor de silício abaixo de 0,5% (MA et al., 2001).

O Si é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) quando o pH da solução é inferior a nove (MA e TAKAHASHI, 2002). No interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, sendo o restante (1%) encontrado na forma coloidal ou iônica (YOSHIDA, 1975). Embora a maioria do Si das plantas seja polimerizada ou solidificada, a fração de Si em solução dentro da planta pode estar

envolvida na síntese de compostos de defesa das plantas, inclusive em dicotiledôneas (FAWE et al., 1998).

A ação benéfica do Si tem sido associada a diversos efeitos indiretos, dentre os quais, destacam-se o aumento na capacidade fotossintética, plantas mais eretas, redução da transpiração, aumento da resistência mecânica das células, maior resistência das plantas a certos insetos e doenças, diminuição do efeito tóxico do B, Mn, Fe e outros metais pesados, aumento da absorção e metabolismo de elementos, tais como o P (LANA et al., 2003; GUNES et al., 2007a).

O Si é envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração, sendo também capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias no interior da planta, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros (EPSTEIN, 1999; BUCK et al., 2008). O efeito da proteção mecânica do Si nas plantas é atribuído, principalmente, ao seu depósito na forma de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), na parede celular (MA et al., 2001). A formação da camada dupla de sílica cuticular e a consequente redução da transpiração faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (MIYAKE e TAKAHASHI, 1983), podendo ser uma alternativa na redução de perdas de produção por déficit hídrico.

O fornecimento de Si pode reduzir a taxa de transpiração (AGARIE et al., 1998b) e a exsudação de eletrólitos das células (AGARIE et al., 1998a), prevenindo a deterioração estrutural e funcional da membrana celular de plantas de arroz sob deficiência hídrica. Por outro lado, Hattori et al. (2005) observaram maior taxa de transpiração, condutância estomática e acúmulo de matéria seca em plantas de sorgo submetidas à deficiência hídrica, quando supridas com Si, em relação as não supridas. Estes autores sugeriram que o efeito do Si em aumentar a tolerância do sorgo à deficiência é resultado do aumento da capacidade da planta em absorver água do solo.

Gunes et al. (2007a) verificaram que o fornecimento de Si proporcionou maior produção de matéria seca e teor de prolina em plantas de cevada expostas a excesso de sódio e boro no solo.

Zhu et al. (2004) e Gong et al. (2005) observaram que plantas de pepino e trigo cultivadas sob maior disponibilidade de Si e exposta à salinidade e deficiência hídrica, respectivamente, apresentaram maior teor de proteínas nas folhas comparadas às plantas

cultivadas sem Si. De acordo com esses autores, o efeito do Si no aumento da tolerância das plantas à seca está relacionado com um aumento da ação de defesa antioxidante, redução no dano oxidativo de moléculas funcionais e membranas e manutenção dos processos fisiológicos sob condições de deficiência hídrica.

O fornecimento de Si reduziu o efeito da deficiência hídrica devido a redução da resistência estomática e no teor de prolina em folhas de plantas de grão de bico (GUNES et al., 2007b) e girassol (GUNES et al., 2008a), além de minimizar significativamente os danos nas membranas e aumentar o teor relativo de água nas folhas. Por outro lado, Crusciol et al. (2009) verificaram aumento no teor de prolina e redução nos teores de açúcares solúveis e proteínas em folhas de batata, bem como aumento da produtividade de tubérculos, com aplicação de Si via solo.

A redistribuição do Si na planta é muito baixa, sendo, portanto, considerado imóvel no floema (DATNOFF et al., 2001; MALAVOLTA, 2006). Dessa forma, algumas pesquisas têm demonstrado que o fornecimento de Si mediante pulverização via aplicação foliar, com o uso de pequenas quantidades do elemento, tem sido alternativa viável para o seu fornecimento às plantas, suprimindo a necessidade de Si e/ou estimulando seus efeitos benéficos (MENZIES et al., 1992; WANG e GALLETA, 1998; BUCK et al., 2008). Na cultura do arroz, Buck et al. (2008) observaram que uma única aplicação de Si via foliar (20 DAE), apesar de não ter aumentado o teor do elemento nas folhas, proporcionou redução significativa na incidência de brusone. Guével et al. (2007) relataram que aplicações semanais de Si via foliar, na concentração de 0,35 mM de Si (Silamol), bem como de outras fontes e concentrações, não interferiram no crescimento das plantas de trigo, mas proporcionaram redução na severidade do oídio, quando comparado com a testemunha. Wang e Galleta (1998) verificaram que aplicações semanais de Si (silicato de potássio), na dose de 4,25 mM, proporcionaram melhora no metabolismo e no crescimento de plantas de morango. Aplicações semanais de Si via foliar na dose de 855 mg L<sup>-1</sup> (50% na calda de pulverização) em roseira propiciaram aumento no teor das clorofilas *a* e *b* (LOCARNO et al., 2011).

Assim, desde que se utilizem produtos realmente solúveis em água, as vantagens dessa técnica devem ser exploradas, tais como: uso de menores quantidades de fertilizantes, menor custo, facilidade de aplicação e melhor aproveitamento do fertilizante



aplicado (BUCK et al., 2008). Contudo, ainda são escassas e controversas as informações sobre a eficiência da aplicação de Si, tanto via solo quanto foliar, na cultura da batata.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Localização**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu-SP (48° 23' W e 22° 51' S; 765 m de altitude).

A casa de vegetação é de polipropileno com ambiente semi climatizado. Possui circulador de ar interno e sistema de refrigeração e aquecimento para manter a temperatura na faixa adequada à cultura em estudo.

### **5.2 Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por: testemunha (sem aplicação de Si), aplicação de Si via solo e aplicação de Si via foliar, combinados com duas tensões de água no solo: 0,020 MPa (sem deficiência hídrica) e 0,060 MPa (com deficiência hídrica). Cada unidade experimental foi formada por um vaso com dimensões de 46 x 32 x 26 cm, contendo 35 dm<sup>-3</sup> de solo, com uma planta de batata.

O fornecimento do Si via solo foi realizado utilizando o produto FertiSilica (22,4% de Si solúvel (SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O), PQ Silicas Brasil Ltda, São Paulo, Brasil),

disponível na forma granulada, na dose de 50 mg de Si dm<sup>-3</sup>, incorporado ao solo juntamente com a adubação de base. O fornecimento via foliar foi realizado mediante cinco pulverizações do produto Silamol (0,8% de Si solúvel como um concentrado estabilizado de ácido silícico, que forma ácido ortossilícico [Si(OH)<sub>4</sub>] e ácido dissilícico quando diluído, 48% de PEG<sub>400</sub>, Bioquick Tecnologia Imp. e Exp. de Prod. Agropecuários Ltda, Cotia, SP), disponível na forma líquida, na dose de 40 mg de Si L<sup>-1</sup> de solução (1,425 mM), aos 10, 20, 30, 40 e 50 dias após a emergência (DAE). A concentração da solução foi de 5 mL do produto comercial por L da solução. A solução foi preparada com água deionizada.

Os tratamentos com as diferentes tensões de água no solo foram estabelecidos aos 20 DAE e mantidos até 60 DAE, compreendendo os estádios de estolonização e enchimento dos tubérculos (MAROUELLI e GUIMARÃES, 2006).

### 5.3 Cultivar utilizada

A cultivar Ágata (Böhm52/72 x Sirco) é originária da Holanda. Apresenta alta produtividade, porém, com teor muito baixo de matéria seca, tendo como uma das suas características maturação precoce a muito precoce. É um material susceptível a requeima das folhas (*Phytophthora infestans* B.), muito pouco susceptível ao vírus Yn, imune ao cancro e resistente ao patótipo A da *Globodera rostochiensis* (nematóide dourado). Atualmente, a cultivar Ágata representa mais de 60% da batata produzida no Brasil.

### 5.4 Instalação e condução do experimento

O solo utilizado foi Latossolo Vermelho distrófico, de textura média (EMBRAPA, 1999). Uma porção deste solo foi peneirada. Após o peneiramento, uma amostra foi submetida à análise para determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001) e do teor de Si solúvel, utilizando-se como extrator CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> (KORNDÖRFER et al., 2004) (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas do solo antes da correção.

| pH(CaCl <sub>2</sub> ) | M.O.<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | P <sub>resina</sub><br>(mg dm <sup>-3</sup> ) | H+Al | K   | Ca | Mg | CTC | V<br>(%) | Si<br>(mg dm <sup>-3</sup> ) |
|------------------------|-------------------------------|---|------|-----|----|----|-----|----------|------------------------------|
| 4,1                    | 24                            | 2   | 75   | 0,4 | 2  | 2  | 80  | 6        | 3,0                          |

O solo foi corrigido mediante aplicação de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 60% (LORENZI et al., 1997) e incubação com umidade de aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água, por um período de 40 dias.

Após a incubação, foi coletada amostra de solo para determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001) e o teor Si solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004) (Tabela 2). Nesta ocasião, o solo recebeu adubação com 200 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples, 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 150 mg dm<sup>-3</sup> de K (KCl, 60 % K<sub>2</sub>O) e 5,0, 1,0, 0,4, 1,7, 1,1 e 0,06 mg dm<sup>-3</sup> de Zn, B, Cu, Fe, Mn e Mo, respectivamente (FTE BR-12, 9,0 % de Zn; 1,8 % de B; 0,8 % de Cu; 3,0 % de Fe; 2,0 % de Mn; e 0,1 % de Mo).

Tabela 2. Características químicas do solo após a correção.

| pH(CaCl <sub>2</sub> ) | M.O.<br>(g dm <sup>-3</sup> ) | P <sub>resina</sub><br>(mg dm <sup>-3</sup> ) | H+Al | K   | Ca | Mg | CTC | V<br>(%) | Si<br>(mg dm <sup>-3</sup> ) |
|------------------------|-------------------------------|---|------|-----|----|----|-----|----------|------------------------------|
| 5,7                    | 22                            | 6   | 28   | 0,9 | 27 | 26 | 81  | 66       | 3,0                          |

Nos tratamentos em que o Si foi aplicado via solo, este foi incorporado ao solo juntamente com a adubação de base. Após isso, o solo foi acomodado nos vasos.

A adubação nitrogenada (75 mg dm<sup>-3</sup>) foi parcelada em três vezes (antes do plantio, aos 10 e 40 DAE), utilizando-se como fonte a uréia (45% de N).

Antes do plantio, o solo foi tratado com carbofuran (2,0 mg do i.a. dm<sup>-3</sup>). O plantio foi realizado no dia 13/10/2010, utilizando-se um tubérculo-semente (30 a 50 mm de diâmetro e com brotações vigorosas) por vaso, com a base do tubérculo a 12 cm de profundidade. A emergência das plantas ocorreu 15 dias após o plantio.

O potencial de água no solo foi controlado por meio de tensiômetros de mercúrio (Hg) instalados no dia do plantio a 12 cm de profundidade, medidos a partir do meio da cápsula. Após a emergência das plantas e antes do estabelecimento dos tratamentos de deficiência hídrica, as irrigações foram realizadas quando a tensão média de água no solo

atingia 0,020 MPa. Os valores de tensão de água no solo (0,020 e 0,060 MPa) foram definidos de acordo com as recomendações de Oliveira & Valadão (1997) e Marouelli e Guimarães (2006) e a curva de retenção de água foi determinada em laboratório, segundo método de placas de pressão recomendado por Richards (1949) e Topp et al. (1993). As irrigações foram realizadas manualmente e calculadas de modo a elevar os valores de tensão aos da capacidade de campo para todos os tratamentos, quando as tensões estabelecidas (tratamentos) foram atingidas.

Nos vasos que receberam aplicação de Si via foliar, esta foi realizada mediante pulverização de 6 mL da solução (40 mg de Si L<sup>-1</sup>) por planta, em cada aplicação. Para evitar que a solução contendo Si escorresse para o solo dos vasos, o mesmo foi coberto com um filme plástico antes de cada pulverização.

A amontoa foi realizada aos 11 DAE, anteriormente ao início da estolonização (16 DAE).

A temperatura interna da casa de vegetação foi ajustada para permanecer na faixa ideal à cultura, sendo a mínima de 14°C e a máxima de 27°C.

Durante a condução do experimento, foram realizados os tratamentos fitossanitários recomendados de forma preventiva (Tabela 3).

Além das aplicações dos defensivos, também foi realizada aplicação de boro (ácido bórico, 1 g L<sup>-1</sup>) aos 9 DAE para correção de deficiência de boro constatada visualmente pelo início do enrolamento dos folíolos.

A colheita do experimento foi realizada dia 16/02/2011 (aos 111 DAE).

Após a colheita das plantas de batata, o solo de cada vaso foi amostrado, seco e submetido à determinação de pH (CaCl<sub>2</sub>), P, H+Al, K, Ca, Mg, S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, B, Cu, Fe, Mn e Zn, e calculada a saturação por bases (Tabela 4), segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Tabela 3. Tratamento fitossanitário empregado durante a condução do experimento.

| Dias após a emergência<br>(DAE) | Ingrediente ativo       | Dose<br>(g do i.a. ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 08                              | dimetomorfe + mancozebe | 225 + 1500                            |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 14                              | metiram                 | 2100                                  |
|                                 | clorfenapir             | 180                                   |
| 21                              | clorotalonil            | 1485                                  |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 28                              | dimetomorfe + mancozebe | 225 + 1500                            |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 34                              | metiram                 | 2100                                  |
|                                 | clorfenapir             | 180                                   |
| 41                              | clorotalonil            | 225 + 1500                            |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 49                              | dimetomorfe + mancozebe | 225 + 1500                            |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 59                              | metiram                 | 2100                                  |
|                                 | clorfenapir             | 180                                   |
| 67                              | clorfenapir             | 180                                   |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |
| 68                              | clorfenapir             | 180                                   |
| 77                              | clorfenapir             | 180                                   |
|                                 | tiametoxam              | 12,5                                  |

Tabela 4. Características químicas do solo após a colheita da batata. Média de oito repetições.

| Formas de aplicação de Si | pH(CaCl <sub>2</sub> )          | P <sub>resina</sub><br>(mg dm <sup>-3</sup> ) | H+Al<br>(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | K     | Ca       | Mg    | V<br>(%) |
|---------------------------|---------------------------------|---|---|-------|----------|-------|----------|
| Testemunha                | 5,7                             | 64,9  | 26,7  | 2,3   | 25,0     | 22,2  | 65       |
| Solo                      | 5,6                             | 69,3  | 26,6  | 2,4   | 24,7     | 21,3  | 64       |
| Foliar                    | 5,7                             | 63,6  | 25,1  | 2,4   | 25,1     | 21,9  | 66       |
|                           | S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Boro  | Cobre   | Ferro | Manganês | Zinco |          |
|                           | (mg dm <sup>-3</sup> )          |   |   |       |          |       |          |
| Testemunha                | 92,4                            | 0,78  | 0,42  | 21,7  | 0,31     | 2,2   |          |
| Solo                      | 94,3                            | 0,74  | 0,42  | 22,4  | 0,31     | 2,2   |          |
| Foliar                    | 91,1                            | 0,76  | 0,46  | 22,5  | 0,27     | 2,2   |          |

### 5.5 Avaliações realizadas

Pelo fato de algumas avaliações serem destrutivas, todos os tratamentos foram instalados com oito repetições (vasos), quatro delas foram conduzidas até os 40 DAE,

quando foram utilizadas nas avaliações destrutivas, e as outras quatro foram conduzidas até o final do ciclo.

### **5.5.1 Avaliações que foram realizadas aos 40 DAE (tuberização)**

#### **5.5.1.1 Número de hastes por planta**

Foi avaliado contando-se o número de hastes em cada unidade experimental.

#### **5.5.1.2 Comprimento da haste principal e comprimento médio das hastes**

O comprimento da haste principal foi obtido com fita métrica, tomando como base a superfície do solo e, como ponto mais alto da haste, a gema apical. Já o comprimento médio das hastes foi obtido pela relação entre o comprimento total das hastes de cada unidade experimental pelo número de hastes por planta.

#### **5.5.1.3 Acamamento**

Foi avaliado em cada unidade experimental, por meio da relação: número de hastes acamadas pelo número total de hastes, sendo o resultado expresso em porcentagem. Foram consideradas como acamadas as hastes que tocaram o solo.

#### **5.5.1.4 Número de folhas na haste principal e por planta**

Foi realizado contando-se o número de folhas totalmente expandidas na haste mais comprida e por unidade experimental.

### 5.5.1.5 Teor relativo de água na folha (TRA)

O teor relativo de água (TRA) na folha foi mensurado retirando cinco discos foliares com aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> cada, sendo três discos da quinta e dois da sexta folha de todas as plantas. Imediatamente foram pesados, evitando perdas de umidade, gerando os valores de massa fresca (MF). Logo após, as amostras foram colocadas em placas de petri e embebidas em água destilada durante 12 horas. Os discos foliares foram secos em papel toalha para retirada do excesso de umidade e foram novamente pesados, obtendo a massa túrgida (MT). Finalmente, as amostras foram colocadas em estufa a 65°C por 24 horas. Após esse período, foram colocadas para secar em dessecador, por 30 minutos, para reduzir a variação de peso da amostra. Em seguida, foram pesadas obtendo-se a massa seca (MS). Os valores de TRA foram obtidos segundo Barr e Weatherley (1962) através da equação.

$$\text{TRA} = (\text{MF} - \text{MS}) / (\text{MT} - \text{MS}) \times 100$$

### 5.5.1.6 Teor de clorofila

Para a análise de pigmentos, foram coletados dois discos foliares, sendo um disco da quinta folha e um da sexta, os quais foram mantidos em 1,5 mL de dimetilformamida por 48 h para extração de clorofilas (*a* e *b*) e carotenóides. Após a incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 480; 646,8 e 663,8 nm. Os teores de clorofila foram determinados a partir de fórmulas específicas, descritas por Lee et al. (1987).

### 5.5.1.7 Determinações bioquímicas

Após as determinações já descritas, foram coletadas duas folhas por unidade experimental (terceira e quarta folhas a partir do tufo apical), imediatamente embrulhadas em papel alumínio e imersas em N líquido e, em seguida, armazenadas em ultrafreezer (-80 °C) para posteriores determinações de:



### **- teor de L-prolina**

O teor de L-prolina foi determinado utilizando-se método de Bates et al. (1973). Para a realização do teste colorimétrico, foram pipetadas alíquotas de 1,0 mL do extrato bruto; 1,0 mL de niidrina ácida; 1,0 mL de ácido acético glacial. Após banho-maria fervente por 60 minutos, os frascos foram resfriados e efetuada leitura a 520 nm. Como referência, foi utilizada uma reta padrão com L-prolina p.a..

### **- atividade da enzima Superóxido Dismutase (SOD; EC 1.15.1.1)**

A determinação da atividade da SOD levou em consideração a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (azul de nitrotetrazólio cloreto). A atividade foi determinada pela adição de 50 µL de extrato bruto a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 µM de NBT, 100 nM de EDTA e 2 µM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7.8. A reação foi iniciada pela iluminação dos tubos, em câmara composta por tubos fluorescentes (15 W), a 25° C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz (GIANNOPOLITIS e RIES, 1977). O composto azul formado (formazana) pela fotorredução do NBT foi determinado pela absorção a 560 nm. Os tubos considerados brancos para a análise receberam os mesmos reagentes, porém foram mantidos cobertos com papel alumínio durante a incubação, portanto, abrigados da luz. Uma unidade de SOD foi definida como a quantidade de enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima, foi considerada a percentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína na amostra ( $\mu\text{g } \mu\text{L}^{-1}$ ).

### **- atividade da enzima Catalase (CAT; EC 1.11.1.6)**

A atividade da enzima catalase foi mensurada através de espectrofotômetro a 240 nm, pelo monitoramento da variação na absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Peixoto et al. (1999). Para o teste, 50 µL de extrato bruto foram adicionados a 950 µL de um tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, suplementado com

peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM. A variação da absorção ( $\Delta E$ ) foi calculada em um intervalo de 80 segundos, sendo a atividade da enzima calculada utilizando-se um coeficiente de extinção molar  $\epsilon = 39,4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ . A atividade específica (mkat) da catalase levou em consideração a concentração de proteína solúvel no teste.

#### **- atividade da enzima Ascorbato peroxidase (APX; EC 1.11.1.11)**

Para a análise da atividade da enzima APX, inicialmente foi preparada uma solução contendo uma alíquota de 100  $\mu\text{L}$  de extrato bruto com 2,9 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 6,0 (volume final de 3,0 mL). A esta solução foi acrescentada ascorbato e peróxido de hidrogênio, em concentração final de 0,8 e 1 mM, respectivamente. A determinação da variação negativa da absorção foi efetuada a 290 nm, sendo que a atividade específica da enzima ( $\mu\text{Kat } \mu\text{g Prot}^{-1}$ ) foi calculada a partir de um coeficiente de extinção molar de  $2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  (KOSHIBA, 1993).

#### **5.5.1.8 Área foliar**

A determinação da área foliar de cada planta foi realizada em um integrador de área foliar de bancada LICOR, modelo 3100.

#### **5.5.1.9 Matéria seca**

Após a coleta das folhas para as determinações fisiológicas, os vasos foram desmontados e as plantas separadas (folhas, hastes, tubérculos e raízes), lavadas e secas separadamente em estufa a 65 °C, por 72 horas, e posteriormente foi determinada a massa da matéria seca ( $\text{g planta}^{-1}$ ), de cada parte.

#### **5.5.1.10 Teor e acúmulo de Si e nutrientes**

O material utilizado para determinação da matéria seca, depois de moído em moinho tipo Willey, foi submetido à análise para determinação dos teores de Si,

segundo Korndörfer et al. (2004), e dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e B), segundo Malavolta et al. (1997). Posteriormente, os teores foram multiplicados pela massa de matéria seca para o cálculo da quantidade acumulada.

## **5.5.2 Avaliações que foram realizadas aos 60 DAE**

### **5.5.2.1 Número de hastes por planta**

Foi avaliado contando-se o número de hastes em cada unidade experimental.

### **5.5.2.2 Comprimento da haste principal e comprimento médio das hastes**

O comprimento da haste principal foi obtido com fita métrica, tomando como base a superfície do solo e, como ponto mais alto da haste, a gema apical. Já o comprimento médio das hastes foi obtido pela relação entre o comprimento total das hastes de cada unidade experimental pelo número de hastes por planta.

### **5.5.2.3 Acamamento**

Foi avaliado em cada unidade experimental, por meio da relação: número de hastes acamadas pelo número total de hastes, sendo o resultado expresso em porcentagem. Foram consideradas como acamadas as hastes que tocaram o solo.

### **5.5.2.4 Número de folhas na haste principal e por planta**

Foi realizado contando-se o número de folhas totalmente expandidas na haste mais comprida e por unidade experimental.

### **5.5.2.5 Teor de clorofila**

Para a análise de pigmentos, foram coletados dois discos foliares, sendo um disco da terceira folha e um da nona, os quais foram mantidos em 1,5 mL de dimetilformamida por 48 h para extração de clorofilas (*a* e *b*) e carotenóides. Após a incubação, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 480; 646,8 e 663,8 nm. Os teores de clorofila foram determinados a partir de fórmulas específicas, descritas por Lee et al. (1987).

## **5.5.3 Avaliações que foram realizadas no final do ciclo**

### **5.5.3.1 Número e massa de tubérculos por planta**

A avaliação foi feita na ocasião da colheita com a produção total de cada unidade experimental, 10 dias após a seca total das hastes. Os tubérculos foram colhidos separadamente por planta e conduzidos até galpão, onde foram escovados para a retirada do solo aderido, contados e pesados.

### **5.5.3.2 Classificação de tubérculos**

A partir da produtividade total de tubérculos de cada parcela experimental, foi feita a classificação dos tubérculos pelo diâmetro transversal, sendo dividida em quatro classes: a) Especial ou “Graúda” (tubérculos com diâmetro superior a 45 mm); b) Primeira (tubérculos com diâmetro de 33 a 45 mm); c) Segunda (tubérculos com diâmetro de 23 a 33 mm) e “Miúda” (tubérculos com diâmetro inferior a 23 mm). A produtividade comercial de tubérculo foi determinada pelo somatório das três primeiras classes (Especial ou “Graúda”, Primeira e Segunda).

### **5.5.3.3 Teor de matéria seca nos tubérculos**

Três tubérculos de cada unidade experimental foram lavados, fatiados, pesados e colocados em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante. Através da relação entre o peso seco e úmido foi obtido o teor de matéria seca e expresso em porcentagem.

### **5.5.3.4 Teor de proteína bruta nos tubérculos**

No material utilizado para determinação do teor de matéria seca, foi mensurado o teor de proteína bruta, determinando-se o nitrogênio total, empregando-se a técnica de Kjeldahl, de acordo com o método 920.87 da AOAC (2005) e utilizando o fator de 6,25 para conversão em proteína bruta.

### **5.5.3.5 Teor de Si nos tubérculos**

No material utilizado para determinação do teor de matéria seca, foi mensurado o teor de Si, segundo metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004).

### **5.5.3.6 Teor de Si no solo**

Foi determinado o teor de Si solúvel, usando solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (KORNDÖRFER et al., 2004), nas amostras de solo coletadas após a colheita do experimento.

## **5.6 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t (DMS), a 5% de probabilidade.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de Si foi maior no tratamento com aplicação de Si via solo em relação aos tratamentos com aplicação via foliar e sem aplicação, independentemente da tensão de água estudada (Figura 1). O teor mais elevado no tratamento com aplicação de Si via solo se deve à incorporação do Si juntamente com a adubação de base, aumentando o nível do elemento no solo deste tratamento, o que não ocorreu nos demais tratamentos.

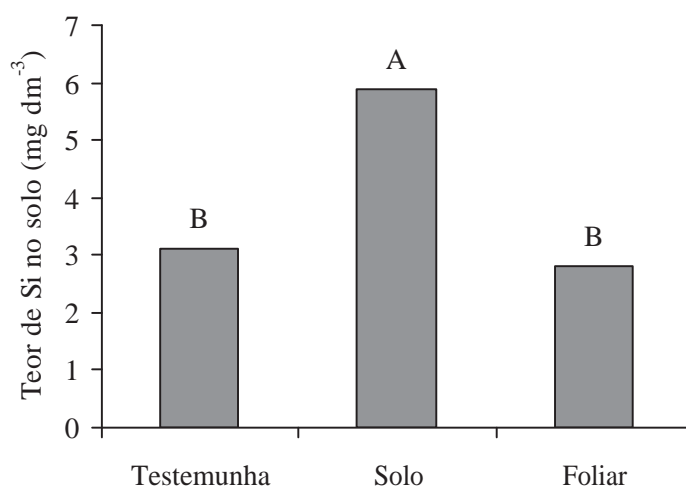


Figura 1. Efeito de formas de aplicação de Si no teor desse elemento no solo, após a colheita da batata. Letras distintas são indicativo de diferença significativa pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. Coeficiente de variação: 21,6%.

Vale destacar que no tratamento com fornecimento de Si via solo, apesar de terem sido aplicados 50 mg de Si  $\text{dm}^{-3}$ , a análise utilizando como extrator a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  (KORNDÖRFER et al., 2004) relevou aumento do teor de Si solúvel, porém, bastante inferior ao nível aplicado. De acordo com Pereira et al. (2007) e Arruda (2009), a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  é o melhor extrator do Si do solo, por apresentar elevada correlação com o Si absorvido pelas plantas, porém, apresenta estreita faixa de determinação.

### 6.1 Resultados das avaliações realizadas 40 DAE

Em avaliação realizada aos 40 DAE, verificou-se que o comprimento médio das hastes (CMH) e o comprimento da haste mais alta (CHA) foram afetados pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de hastes por planta (NHP), comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) e acamamento (AC) em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                   | NHP<br>(nº planta <sup>-1</sup> ) | CMH<br>(cm) | CHA<br>(cm) | AC<br>(%) |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| Tensão de água no solo (TA)   |                                   |             |             |           |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 2,8a                              | 99,5        | 104,4       | 75,0b     |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 3,0a                              | 83,5        | 87,1        | 95,8a     |
| Forma de aplicação de Si (Si) |                                   |             |             |           |
| Testemunha                    | 2,5a                              | 89,1        | 93,1        | 74,0a     |
| Solo                          | 3,1a                              | 94,6        | 99,9        | 90,6a     |
| Foliar                        | 3,1a                              | 90,7        | 94,2        | 91,7a     |
| Interação TA x Si             | ns                                | *           | *           | ns        |
| CV (%)                        | 48,0                              | 10,5        | 7,9         | 25,3      |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Mediante desdobramento, observou-se que, sob disponibilidade hídrica adequada, as aplicações de Si via solo e foliar proporcionaram maior CMH que o tratamento sem aplicação de Si (Tabela 6). Já em plantas que não receberam aplicação de Si, a disponibilidade hídrica adequada (0,020 MPa) não interferiu no CMH, porém, nas plantas que

receberam aplicação de Si via solo ou foliar, a maior disponibilidade hídrica proporcionou maiores valores dessa variável (Tabela 6).

De forma similar, o CHA, sob disponibilidade hídrica adequada, foi superior nas plantas tratadas com Si via solo e via foliar, em relação às que não foram tratadas (Tabela 6). Sob deficiência hídrica, o tratamento sem aplicação de Si proporcionou CHA superior ao tratamento com Si via foliar; porém, não diferiu da aplicação via solo. Em plantas que receberam aplicação de Si via solo e via foliar, a disponibilidade hídrica adequada no solo proporcionou maior CHA, em relação à condição de deficiência hídrica; porém, esse efeito não foi observado nas plantas que não receberam aplicação de Si (Tabela 6). A aplicação de Si favoreceu o crescimento das plantas em condição de disponibilidade hídrica adequada. Pulz et al. (2008) e Abdalla (2011) verificaram maior comprimento das hastes de batata e tremoço, respectivamente, em função da aplicação de Si via solo, independentemente da disponibilidade hídrica. Similarmente, Gong et al. (2003) observaram maior altura de plantas de trigo com aplicação de Si via solo, apenas na ausência de deficiência hídrica.

Tabela 6. Comprimento médio de hastes (CMH) e comprimento da haste mais alta (CHA) de plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de Si |          |         |
|-----------------------------|---------------------------|----------|---------|
|                             | Testemunha                | Solo     | Foliar  |
|                             |                           | CMH (cm) |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 90,3Ba                    | 103,5Aa  | 104,6Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 88,0Aa                    | 85,8Ab   | 76,8Ab  |
|                             |                           | CHA (cm) |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 92,4Ba                    | 112,1Aa  | 108,6Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 93,9Aa                    | 87,6ABb  | 79,8Bb  |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Não houve interação entre as formas de aplicação de Si e as tensões de água no solo no número de hastes por planta (NHP) e porcentagem de acamamento (AC) (Tabela 5). Contudo, observou-se que a porcentagem de acamamento foi inferior na condição de disponibilidade hídrica adequada, em relação à deficiência. A menor porcentagem de



acamamento nas plantas submetidas à disponibilidade de água adequada parece estar relacionada com a melhor condição hídrica das células, proporcionando maior turgidez e, portanto, mantendo as hastes mais eretas.

O número de folhas na maior haste (NFP) não foi afetado pelos fatores estudados (Tabela 7). Entretanto, as formas de aplicação de Si influenciaram o número total de folhas por planta (TFP), com maior número nas plantas tratadas com Si via solo em comparação às não tratadas, não diferindo significativamente das tratadas com Si via foliar (Tabela 7). Segundo Adatia e Besford (1986), um dos efeitos benéficos do Si nas plantas é o aumento no número de folhas, o que pode ser constatado com os resultados obtidos nesse experimento.

Tabela 7. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de folhas na maior haste (NFP), número total de folhas por planta (TFP), área foliar (AF) e teor relativo de água na folhas (TRA) de plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                   | NFP                                  | TFP    | AF                                      | TRA   |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------|---|-------|
|                               | ———— (nº planta <sup>-1</sup> ) ———— |        | (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) | (%)   |
| Tensão de água no solo (TA)   |                                      |        |   |       |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 51,9a                                | 87,8a  | 7744,4                                  | 83,5a |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 46,7a                                | 96,2a  | 4974,4                                  | 73,0b |
| Forma de aplicação de Si (Si) |                                      |        |   |       |
| Testemunha                    | 41,5a                                | 82,9b  | 5672,1                                  | 75,9a |
| Solo                          | 56,0a                                | 102,9a | 7153,3                                  | 77,9a |
| Foliar                        | 50,4a                                | 90,1ab | 6253,1                                  | 80,8a |
| Interação TA x Si             | ns                                   | ns     | *                                       | ns    |
| CV (%)                        | 35,2                                 | 19,8   | 9,9                                     | 6,9   |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

A área foliar (AF) foi afetada pela interação entre os fatores (Tabela 7). Na condição de disponibilidade hídrica adequada, a aplicação de Si via solo proporcionou maior AF nas plantas, em comparação às plantas que não receberam Si, enquanto que o uso de Si via foliar proporcionou valor intermediário (Tabela 8). Este aumento da AF nas plantas submetidas à aplicação de Si via solo parece estar relacionado ao maior número total de folhas por planta, obtido nesse tratamento, demonstrando o possível benefício da maior disponibilidade de Si no solo (Figura 1) em condições de disponibilidade de água adequada.

Independente da aplicação de Si, a AF foi reduzida nas plantas submetidas à deficiência hídrica, em relação à disponibilidade hídrica adequada (Tabela 8).

O teor relativo de água nas folhas (TRA) foi influenciado apenas pelas tensões de água no solo, com teor superior nas plantas cultivadas sob disponibilidade hídrica adequada (0,020 MPa), em comparação as conduzidas sob deficiência (Tabela 7). Os menores TRA nas plantas sob deficiência hídrica são devidos à menor disponibilidade de água no solo, não compensando a quantidade de água perdida pelas plantas no processo de transpiração (GADALLAH, 2000).

Tabela 8. Área foliar de plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e das formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de Si                           |          |          |
|-----------------------------|---|----------|----------|
|                             | Testemunha  | Solo     | Foliar   |
|                             | Área foliar (cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup> ) |          |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 6311,8Ca  | 9257,9Aa | 7663,7Ba |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 5032,5Ab  | 5048,6Ab | 4842,6Ab |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

A tensão de água no solo não interferiu no teor de nenhum dos pigmentos avaliados (Tabela 9). Farhad et al. (2011) também observaram que os teores de clorofila *a* e clorofila *b* em plantas de batata não foram alterados pela deficiência hídrica nos dois estágios de crescimento estudados. Os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides nas folhas da batateira foram afetados pela aplicação de Si (Tabela 9). A aplicação de Si, tanto via solo quanto foliar, proporcionou maior teor desses pigmentos, em comparação ao tratamento sem aplicação de Si, independente da tensão de água no solo. Mali e Aery (2009) verificaram incrementos de até 76,9% e 86,9% nos teores das clorofilas *a* e *b*, respectivamente, nas folhas de plantas de feijão caupi, com aplicação de Si via solo, em condições de disponibilidade hídrica adequada. De acordo com Poljakoff e Gale (1975), a habilidade de sintetizar mais clorofila sob condição de deficiência hídrica é uma característica interessante em espécies tolerantes à deficiência. Gong et al. (2005) verificaram que o fornecimento de Si via solo aumentou os teores dos pigmentos fotossintéticos nas folhas de plantas de trigo sob deficiência

hídrica; no entanto, esses autores não estudaram a aplicação de Si na ausência de deficiência hídrica. Segundo Ma (2004), o Si atua na manutenção do aparato fotossintético em condições de estresse na planta. O estresse causa a formação de EROs na planta que podem causar morte celular. As plantas possuem um sistema de defesa antioxidante em que enzimas, como a SOD, CAT e APX, atuam no combate dessas EROs (ALSCHER et al., 1997). O Si estimula o aumento da atividade das enzimas antioxidantes, contribuindo para a manutenção das células e suas organelas.

Tabela 9. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | Clorofila <i>a</i>     | Clorofila <i>b</i> | Carotenóides |
|--------------------------------|------------------------|--------------------|--------------|
|                                | (µg cm <sup>-2</sup> ) |                    |              |
| Tensão de água no solo (TA)    |                        |                    |              |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 16,5a                  | 19,9a              | 3,8a         |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 15,8a                  | 19,8a              | 3,6a         |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                        |                    |              |
| Testemunha                     | 12,9b                  | 17,7b              | 3,1b         |
| Solo                           | 17,8a                  | 21,5a              | 3,9a         |
| Foliar                         | 17,6a                  | 20,3a              | 4,0a         |
| Interação TA x Si              | ns                     | ns                 | ns           |
| CV (%)                         | 23,6                   | 15,5               | 21,8         |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e a 5% de probabilidade.

O teor de prolina e a atividade das enzimas SOD e CAT foram influenciados pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 10). Não houve influência dos fatores na atividade da enzima APX (Tabela 10). Independente da aplicação de Si, a deficiência hídrica proporcionou aumento no teor de prolina nas folhas das plantas, comparada à condição de disponibilidade hídrica adequada (Tabela 11). Contudo, sob deficiência hídrica, as plantas submetidas às aplicações de Si via solo e via foliar continham maiores teores de prolina nas folhas, em relação às que não receberam aplicação (Tabela 11). Em geral, o teor de prolina nas folhas aumenta com o declínio da disponibilidade hídrica, sugerindo que a produção de prolina é provavelmente uma resposta comum da batata sob condições de deficiência hídrica (FARHAD et al., 2011). O

ajustamento osmótico através do acúmulo de solutos celulares, como a prolina, tem sido sugerido como um dos possíveis mecanismos para superação do estresse osmótico causado pela perda de água (CABALLERO et al., 2005). Segundo Lobato et al (2008), o acúmulo de prolina em folhas de soja cv. Sambaiba aumentou 67% sob déficit hídrico. Teixeira e Pereira (2006) observaram que o teor de prolina aumentou significativamente em todas as partes da planta de batata em resposta à condição de estresse hídrico. Altos níveis de prolina permitem que a planta mantenha o potencial da água baixo porque o acúmulo de osmólitos compatíveis permite que as plantas absorvam mais água do ambiente, dessa forma, amenizando o efeito do déficit hídrico no organismo (MOUSA e ABDEL-AZIZ, 2008). O Si favorece o aumento do teor de prolina, permitindo que as plantas sobrevivam a curtos períodos de deficiência hídrica. Crusciol et al. (2009) verificaram aumento no teor de prolina em folhas de batata, com aplicação de Si via solo. Já Gunes et al. (2007b, 2008a) verificaram que a aplicação de Si aumentou o teor de prolina nas folhas de plantas de grão de bico e de girassol submetidas à condição de deficiência hídrica.

Tabela 10. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor de prolina e na atividade das enzimas SOD, CAT e APX em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | Prolina<br>( $\mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$ ) | SOD<br>( $\text{UniSOD gf}^{-1}$ ) | CAT<br>( $\mu\text{mol min}^{-1}$<br>$\text{mg prot.}^{-1}$ ) | APX<br>( $\mu\text{mol min}^{-1}$<br>$\text{mg prot.}^{-1}$ ) |
|--------------------------------|---|------------------------------------|---|---|
| Tensão de água no solo (TA)    |   |                                    |   |   |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 1,2   | 164,3                              | 73,0  | 3,1a  |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 10,1  | 182,1                              | 66,4  | 3,3a  |
| Formas de aplicação de Si (Si) |   |                                    |   |   |
| Testemunha                     | 3,9   | 175,3                              | 57,2  | 3,2a  |
| Solo                           | 6,6   | 167,8                              | 67,7  | 3,4a  |
| Foliar                         | 6,4   | 176,4                              | 84,1  | 3,1a  |
| Interação TA x Si              | *   | *                                  | *   | ns  |
| CV (%)                         | 16,0  | 11,3                               | 25,5  | 16,6  |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. \* significativo a 5% de probabilidade.

A condição de deficiência hídrica aumentou a atividade da enzima SOD nas plantas submetidas à aplicação de Si via foliar, em comparação à disponibilidade hídrica adequada (Tabela 11). O efeito do Si sobre a atividade da SOD também foi relatado

por Liang et al. (1999), em experimento com cevada, os quais descreveram incremento na atividade desta enzima com aplicação do elemento.

Na condição de disponibilidade hídrica adequada, o fornecimento de Si via solo proporcionou menor atividade da CAT (Tabela 11). Contudo, sob deficiência hídrica, a atividade da CAT foi superior nas plantas que receberam aplicações de Si via solo e via foliar, em relação às que não receberam. Isso demonstra que o Si está relacionado à ativação da enzima CAT na desintoxicação do peróxido de hidrogênio, mantendo o equilíbrio oxidativo nas células da planta. Gunes et al. (2007a) também verificaram que a deficiência hídrica reduziu a atividade da CAT em plantas de cevada, enquanto a aplicação de Si aumentou.

Tabela 11. Teor de prolina e atividade das enzimas SOD, CAT e APX em plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de Si                         |          |          |
|-----------------------------|---|----------|----------|
|                             | Testemunha  | Solo     | Foliar   |
|                             | Prolina ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ MS)              |          |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 1,8 Ab  | 1,1 Ab   | 0,6 Ab   |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 5,9 Ba  | 12,2 Aa  | 12,1 Aa  |
|                             | SOD (UniSOD $\text{gf}^{-1}$ )                    |          |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 174,5 Aa  | 164,1 Aa | 154,2 Ab |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 176,0 Aa  | 171,5 Aa | 198,7 Aa |
|                             | CAT ( $\mu\text{mol min}^{-1}$ mg prot. $^{-1}$ ) |          |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 70,4 ABa  | 59,0 Ba  | 89,6 Aa  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 44,0 Ba   | 76,5 Aa  | 78,7 Aa  |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

O balanço entre as atividades de SOD, APX ou CAT nas células é crucial para a determinação do nível dos radicais superóxidos e  $\text{H}_2\text{O}_2$  (MITTLER, 2002). O aumento da atividade da CAT sob déficit hídrico foi observado por Agarwal e Pandey (2003), Da et al. (2006) e Gunes et al. (2007b). O Si atua no aumento da atividade destas enzimas proporcionando maior desintoxicação das espécies reativas de oxigênio (EROs) e, conseqüentemente, menor dano oxidativo das células em curto período de deficiência hídrica. Os resultados obtidos neste experimento (Tabela 11) demonstram que as plantas de batata possuem resposta positiva à aplicação de Si, na ativação das enzimas antioxidantes (SOD e CAT).

As matérias secas de tubérculos e total foram afetadas apenas pelas tensões de água no solo (Tabela 12). A deficiência hídrica reduziu a matéria seca de tubérculos e total. Já a matéria seca de folhas, hastes e raízes foram afetadas pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 12).

Tabela 12. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na matéria seca de folhas, hastes, raízes e tubérculos em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | Matéria seca              |        |        |            |        |
|--------------------------------|---------------------------|--------|--------|------------|--------|
|                                | Folhas                    | Hastes | Raízes | Tubérculos | Total  |
|                                | (g planta <sup>-1</sup> ) |        |        |            |        |
| Tensão de água no solo (TA)    |                           |        |        |            |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 29,5                      | 14,4   | 8,4    | 68,7a      | 120,8a |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 22,5                      | 11,8   | 7,2    | 44,4b      | 85,6b  |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                           |        |        |            |        |
| Testemunha                     | 25,0                      | 12,6   | 7,4    | 56,7a      | 101,7a |
| Solo                           | 27,9                      | 14,2   | 8,1    | 56,6a      | 106,8a |
| Foliar                         | 24,6                      | 12,5   | 8,0    | 56,3a      | 101,0a |
| Interação TA x Si              | *                         | *      | *      | ns         | ns     |
| CV (%)                         | 7,5                       | 12,8   | 16,4   | 15,9       | 8,7    |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

A deficiência hídrica proporcionou menor produção de matéria seca de folhas, independente da forma de aplicação de Si (Tabela 13). Na condição de disponibilidade hídrica adequada, as plantas submetidas à aplicação de Si via solo apresentaram maior matéria seca de folhas, comparadas às que receberam aplicação via foliar e não receberam Si (Tabela 13). Possivelmente, a matéria seca de folhas superior está relacionada ao maior número total de folhas e área foliar obtidos no tratamento com aplicação de Si via solo, devido à maior disponibilidade do elemento às plantas (Tabelas 7 e 8 e Figura 1).

A aplicação de Si via solo, sob disponibilidade hídrica adequada, proporcionou maior matéria seca de hastes comparada ao tratamento sem aplicação de Si; porém, não diferiu do tratamento com aplicação de Si via foliar (Tabela 13). Os valores superiores de matéria seca de hastes das plantas submetidas às aplicações de Si via solo e foliar estão provavelmente relacionados com os superiores números e comprimentos das hastes desses tratamentos (Tabelas 5 e 6). A deficiência hídrica reduziu a matéria seca de

hastes na presença do fornecimento de Si via solo (Tabela 13). A aplicação de Si não interferiu na matéria seca de raízes nas duas tensões de água no solo estudadas (Tabela 13). A deficiência hídrica reduziu a matéria seca de raízes nas plantas que receberam Si via solo (Tabela 13). Gunes et al. (2008a) verificaram que a disponibilidade de Si, em condição de deficiência de água, aumentou a matéria seca da parte aérea de plantas girassol. A utilização de Si também pode proporcionar incremento de matéria seca da parte aérea em plantas sob condições hídricas adequadas. O uso de baixas concentrações de Si proporcionou aumento na matéria seca da parte aérea de plantas de feijão caupi cultivadas sem deficiência hídrica (MALI e AERY, 2009).

Tabela 13. Matéria seca de folhas, hastes e raízes de plantas de batata aos 40 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de silício                   |         |          |
|-----------------------------|--|---------|----------|
|                             | Testemunha                                       | Solo    | Foliar   |
|                             | Matéria seca de folhas (g planta <sup>-1</sup> ) |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 27,3 Ba  | 32,8 Aa | 28,5 Ba  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 22,7 Ab  | 23,1 Ab | 20,8 Ab  |
|                             | Matéria seca de hastes (g planta <sup>-1</sup> ) |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 13,2 Ba  | 16,2 Aa | 13,8 ABa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 11,9 Aa  | 12,2 Ab | 11,3 Aa  |
|                             | Matéria seca de raízes (g planta <sup>-1</sup> ) |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 7,9 Aa   | 9,3 Aa  | 8,2 Aa   |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 6,9 Aa   | 6,9 Ab  | 7,8 Aa   |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Houve efeito da interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si no teor de Si nas folhas, hastes, raízes e tubérculos (Tabela 14). Mediante desdobramento, observou-se que, sob disponibilidade hídrica adequada, o maior teor de Si nas folhas foi obtido nas plantas tratadas com aplicação de Si via foliar, com as plantas tratadas com Si via solo apresentando teores intermediários (Tabela 15). Em plantas de morango, o acréscimo de doses de Si foliar também proporcionou aumento no teor desse elemento nas folhas (WANG e GALLETTA, 1998). Em condições de déficit hídrico, não houve diferença no teor de Si nas folhas entre as formas de aplicação do elemento (Tabela 15). As tensões de água no solo influenciaram o teor de Si nas folhas das plantas submetidas às aplicações de Si

via solo e foliar, sendo superiores na condição de disponibilidade hídrica adequada, em relação à deficiência (Tabela 15). Em plantas de duas cultivares de sorgo, o uso de Si propiciou maior teor de Si nas folhas, tanto sob deficiência de água, quanto sem deficiência (HATTORI et al., 2005).

Tabela 14. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor e quantidade acumulada de Si nas folhas, hastes, raízes e tubérculos (Tub.) em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | Teor de Si            |        |        |      | Quantidade de Si acumulada |        |        |      |
|--------------------------------|-----------------------|--------|--------|------|----------------------------|--------|--------|------|
|                                | Folhas                | Hastes | Raízes | Tub. | Folhas                     | Hastes | Raízes | Tub. |
|                                | (g kg <sup>-1</sup> ) |        |        |      | (g planta <sup>-1</sup> )  |        |        |      |
| Tensão de água no solo (TA)    |                       |        |        |      |                            |        |        |      |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 7,5                   | 7,8    | 4,3    | 2,1  | 0,22                       | 0,12a  | 0,04   | 0,14 |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 5,2                   | 9,6    | 4,0    | 2,5  | 0,12                       | 0,11a  | 0,03   | 0,11 |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                       |        |        |      |                            |        |        |      |
| Testemunha                     | 4,6                   | 6,6    | 3,4    | 2,1  | 0,11                       | 0,08b  | 0,02   | 0,12 |
| Solo                           | 6,9                   | 12,1   | 5,1    | 2,5  | 0,20                       | 0,17a  | 0,04   | 0,14 |
| Foliar                         | 7,5                   | 7,5    | 4,1    | 2,3  | 0,19                       | 0,09b  | 0,03   | 0,13 |
| Interação TA x Si              | *                     | *      | *      | *    | *                          | ns     | *      | *    |
| CV (%)                         | 10,3                  | 23,0   | 14,4   | 9,1  | 16,4                       | 30,6   | 22,5   | 18,0 |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Com relação ao teor de Si nas hastes, sob disponibilidade hídrica adequada, a aplicação de Si via solo proporcionou maior teor do elemento; porém, sem diferir do tratamento com fornecimento de Si via foliar (Tabela 15). Na condição de deficiência hídrica, o maior teor de Si nas hastes ocorreu em plantas tratadas com aplicação de Si via solo, em relação aos demais tratamentos (Tabela 15). O teor de Si nas hastes das plantas submetidas à maior disponibilidade de Si no solo (Figura 1) foi menor na condição de maior disponibilidade hídrica (Tabela 15), o que pode estar relacionado ao efeito diluição, já que esse tratamento proporcionou maior produção de matéria seca de hastes (Tabela 13).

Sob deficiência hídrica, o tratamento sem aplicação de Si propiciou o menor teor do elemento nas raízes; enquanto que, sob disponibilidade hídrica adequada, foi encontrado maior teor de Si nas raízes de plantas tratadas com aplicação de Si via solo (Tabela



15). De acordo com Maly e Aery (2009), houve aumento nos teores de Si nas folhas e raízes de feijão caupi com o aumento de doses de Si no solo, sob condições adequadas de água.

Tabela 15. Teor e quantidade acumulada de Si nas folhas, hastes, raízes e tubérculos de plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de silício                                      |         |         |
|-----------------------------|---|---------|---------|
|                             | Testemunha  | Solo    | Foliar  |
|                             | Teor Si nas folhas (g kg <sup>-1</sup> )                            |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 4,2 Ca  | 8,4 Ba  | 9,9 Aa  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 5,0 Aa  | 5,4 Ab  | 5,1 Ab  |
|                             | Teor Si nas hastes (g kg <sup>-1</sup> )                            |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 6,3 Ba  | 10,1 Ab | 7,1 ABa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 6,9 Ba  | 14,2 Aa | 7,8 Ba  |
|                             | Teor Si nas raízes (g kg <sup>-1</sup> )                            |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 3,5 Ba  | 5,5 Aa  | 4,0 Ba  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 3,2 Ba  | 4,7 Aa  | 4,2 Aa  |
|                             | Teor Si nos tubérculos (g kg <sup>-1</sup> )                        |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 2,0 Aa  | 2,0 Ab  | 2,3 Aa  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 2,2 Ba  | 3,1 Aa  | 2,3 Ba  |
|                             | Quantidade de Si acumulada nas folhas (g planta <sup>-1</sup> )     |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 0,11 Ba   | 0,28 Aa | 0,28 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 0,11 Aa   | 0,13 Ab | 0,11 Ab |
|                             | Quantidade de Si acumulada nas raízes (g planta <sup>-1</sup> )     |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 0,03 Ba   | 0,05 Aa | 0,03 Ba |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 0,02 Aa   | 0,03 Ab | 0,03 Aa |
|                             | Quantidade de Si acumulada nos tubérculos (g planta <sup>-1</sup> ) |         |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 0,14 Aa   | 0,13 Aa | 0,15 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 0,09 Bb   | 0,14 Aa | 0,10 Bb |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Sob deficiência hídrica, a aplicação de Si via solo aumentou o teor desse elemento nos tubérculos, quando comparado às plantas que receberam aplicação via foliar e não receberam aplicação de Si (Tabela 15). Além disso, a condição de deficiência hídrica proporcionou maior teor de Si nos tubérculos de plantas submetidas à aplicação via solo, em relação à disponibilidade hídrica adequada. Pulz et al. (2008) também verificaram que o fornecimento de Si via solo aumentou o teor desse elemento nos tubérculos de batata, especialmente sob condições de adequada disponibilidade hídrica, diferente do observado no presente trabalho.

Na condição de disponibilidade hídrica adequada, foi observado maior acúmulo de Si nas folhas de plantas que receberam aplicação de Si, tanto via solo quanto foliar, em comparação às plantas que não receberam aplicação. Sob deficiência hídrica, não houve efeito da aplicação de Si (Tabela 15). A quantidade de Si acumulada nas folhas de plantas que receberam aplicação de Si foram inferiores sob deficiência hídrica, em relação à condição com disponibilidade hídrica adequada (Tabela 15).

A quantidade de Si acumulada nas hastes foi afetada apenas pelas formas de aplicação de Si (Tabela 14). O fornecimento via solo proporcionou maior acúmulo de Si nas hastes, em relação aos demais tratamentos. Esse efeito pode ser relacionado aos resultados de maior matéria seca e teor de Si nas hastes obtidos sob maior disponibilidade de Si no solo (Tabelas 12 e 14 e Figura 1).

Sob disponibilidade hídrica adequada, a quantidade de Si acumulada nas raízes foi superior quando o Si foi aplicado via solo (Tabela 15). Em condições de deficiência hídrica, não houve efeito significativo da aplicação de Si na quantidade acumulada nas raízes. Nessa condição, a quantidade de Si acumulada nas raízes de plantas submetidas à aplicação via solo foi reduzida, em relação à condição de disponibilidade hídrica adequada.

A quantidade de Si acumulada nos tubérculos, sob deficiência hídrica, foi superior no tratamento com aplicação de Si via solo, em relação aos demais tratamentos (Tabela 15). Sob adequada disponibilidade de água, não houve diferença significativa entre os tratamentos com Si. A condição de déficit de água reduziu a quantidade de Si acumulada nos tratamentos com aplicação de Si via foliar e sem aplicação de Si, em comparação à condição de maior disponibilidade hídrica (Tabela 15).

Os teores de P, Ca, S e Mn sofreram efeito da interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 16). O teor de K foi influenciado apenas pelas tensões de água no solo, sendo superior nas plantas submetidas à disponibilidade hídrica adequada (Tabela 16). Já os teores de N, Mg, Cu, Fe, Zn e B não sofreram influência dos fatores estudados (Tabela 16).

Tabela 16. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | N                     | P    | K     | Ca  | Mg   | S   | Cu                     | Fe     | Mn   | Zn    | B    |
|--------------------------------|-----------------------|------|-------|-----|------|-----|------------------------|--------|------|-------|------|
|                                | (g kg <sup>-1</sup> ) |      |       |     |      |     | (mg kg <sup>-1</sup> ) |        |      |       |      |
| Tensão de água no solo (TA)    |                       |      |       |     |      |     |                        |        |      |       |      |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 22,7a                 | 3,7  | 24,7a | 6,3 | 3,3a | 1,3 | 6,7a                   | 255,0a | 18,6 | 82,1a | 6,5a |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 22,9a                 | 3,5  | 18,2b | 6,9 | 3,5a | 1,5 | 6,9a                   | 264,6a | 20,1 | 81,6a | 6,5a |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                       |      |       |     |      |     |                        |        |      |       |      |
| Testemunha                     | 23,2a                 | 3,9  | 21,0a | 6,6 | 3,3a | 1,3 | 6,6a                   | 250,6a | 21,2 | 81,0a | 6,5a |
| Solo                           | 23,1a                 | 3,5  | 22,4a | 7,1 | 3,5a | 1,5 | 6,7a                   | 259,6a | 19,4 | 82,1a | 6,5a |
| Foliar                         | 22,2a                 | 3,4  | 20,9a | 6,5 | 3,5a | 1,4 | 7,1a                   | 269,1a | 17,5 | 82,5a | 6,5a |
| Interação TA x Si              | ns                    | *    | ns    | *   | ns   | *   | ns                     | ns     | *    | ns    | ns   |
| CV (%)                         | 5,5                   | 11,7 | 7,9   | 8,3 | 9,1  | 6,9 | 11,0                   | 11,7   | 10,5 | 9,5   | 0,9  |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Mediante desdobramento, observou-se que, sob deficiência hídrica, o tratamento sem aplicação de Si proporcionou maior teor de P, em relação à aplicação via foliar (Tabela 17). A aplicação de Si via solo propiciou maior teor de Ca, na condição de disponibilidade hídrica adequada, em relação à aplicação via foliar. A disponibilidade hídrica adequada não interferiu no teor de Ca nas plantas de batata. Nessa condição hídrica, não houve efeito significativo da aplicação de Si no teor de S. Entretanto, na condição de deficiência hídrica, a aplicação de Si via solo proporcionou maior teor de S em relação aos tratamentos com aplicação via foliar e sem aplicação de Si. A condição de deficiência hídrica proporcionou maior teor de S nas plantas que receberam aplicação de Si via solo e que não receberam aplicação, comparado à condição de disponibilidade hídrica adequada. Sem aplicação de Si, houve aumento do teor de Mn, sob deficiência hídrica, em relação aos tratamentos com fornecimento de Si via solo e via foliar (Tabela 17). Sob disponibilidade hídrica adequada, o teor de Mn foi menor nas plantas que não receberam aplicação de Si, em comparação à condição de deficiência hídrica. Os maiores teores de Ca, S e Mn nas plantas não tratadas com Si sob deficiência hídrica podem ser explicados pela menor matéria seca das plantas desse tratamento, ocasionando um efeito de concentração (Tabelas 12, 13 e 17).

Tabela 17. Teores dos nutrientes P, Ca, S e Mn em plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de silício |                           |         |
|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|
|                             | Testemunha                     | Solo                      | Foliar  |
|                             |                                | P (g kg <sup>-1</sup> )   |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 3,9 Aa                         | 3,6 Aa                    | 3,7 Aa  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 3,9 Aa                         | 3,4 ABa                   | 3,2 Ba  |
|                             |                                | Ca (g kg <sup>-1</sup> )  |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 6,4 ABa                        | 7,2 Aa                    | 6,3 Ba  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 6,8 Aa                         | 7,1 Aa                    | 6,7 Aa  |
|                             |                                | S (g kg <sup>-1</sup> )   |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 1,2 Ab                         | 1,3 Ab                    | 1,3 Aa  |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 1,4 Ba                         | 1,6 Aa                    | 1,4 Ba  |
|                             |                                | Mn (mg kg <sup>-1</sup> ) |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 19,4 Ab                        | 19,2 Aa                   | 17,2 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 23,0 Aa                        | 19,7 Ba                   | 17,7 Ba |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Houve efeito da interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si nas quantidades acumuladas de Ca, Mg, Mn e Zn (Tabela 18). Já as quantidades acumuladas de N, P, K, S, Cu, Fe e B não foram influenciadas pela interação entre os fatores. Contudo, as tensões de água no solo afetaram essas variáveis, sendo as quantidades acumuladas de N, P, K, S, Cu, Fe e B inferiores sob deficiência hídrica, comparadas à condição de disponibilidade de água adequada. A quantidade acumulada de S foi influenciada pelas formas de aplicação de Si, com maior valor nas plantas que receberam aplicação de Si via solo, em relação às que não receberam.

Mediante desdobramento, notou-se que, sob disponibilidade hídrica adequada, as plantas tratadas com Si via solo apresentaram maior acúmulo de Ca, em relação às tratadas com Si via foliar e sem aplicação desse elemento (Tabela 19). A condição de deficiência hídrica reduziu o acúmulo de Ca em todos os tratamentos. De forma similar, o maior acúmulo de Mg foi proporcionado pela aplicação de Si via solo sob disponibilidade hídrica adequada, em relação à ausência de aplicação (Tabela 19). Esse aumento no acúmulo de Mg nas plantas que receberam aplicação de Si via solo pode estar relacionado com a maior matéria seca obtida nesse mesmo tratamento sob disponibilidade hídrica adequada (Tabela 12).

Tabela 18. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na quantidade acumulada dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn e B) em plantas de batata aos 40 DAE.

| Tratamentos                    | N    | P     | K    | Ca   | Mg   | S      | Micronutrientes (mg planta <sup>-1</sup> ) |       |      |     |       |
|--------------------------------|------|-------|------|------|------|--------|--|-------|------|-----|-------|
|                                |      |       |      |      |      |        | Cu   | Fe    | Mn   | Zn  | B     |
| Tensão de água no solo (TA)    |      |       |      |      |      |        |  |       |      |     |       |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 2,7a | 0,45a | 3,0a | 0,80 | 0,40 | 0,16a  | 0,81a                                      | 30,7a | 2,2  | 9,9 | 0,78a |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 2,0b | 0,30b | 1,6b | 0,59 | 0,30 | 0,13b  | 0,59b                                      | 22,6b | 1,7  | 7,0 | 0,55b |
| Formas de aplicação de Si (Si) |      |       |      |      |      |        |  |       |      |     |       |
| Testemunha                     | 2,3a | 0,40a | 2,2a | 0,67 | 0,33 | 0,13b  | 0,67a                                      | 25,3a | 2,1  | 8,2 | 0,66a |
| Solo                           | 2,5a | 0,38a | 2,5a | 0,77 | 0,37 | 0,15a  | 0,72a                                      | 27,6a | 2,1  | 8,8 | 0,70a |
| Foliar                         | 2,2a | 0,35a | 2,2a | 0,65 | 0,35 | 0,14ab | 0,71a                                      | 27,1a | 1,8  | 8,3 | 0,65a |
| Interação TA x Si              | ns   | ns    | ns   | *    | *    | ns     | ns   | ns    | *    | *   | ns    |
| CV (%)                         | 9,0  | 16,0  | 14,1 | 7,7  | 7,1  | 5,7    | 17,0                                       | 11,4  | 11,8 | 9,7 | 8,1   |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 19. Acúmulo de nutrientes (K, Ca, Mg, Mn e Zn) em plantas de batata aos 40 DAE, em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água no solo        | Formas de aplicação de silício |         |          |
|-------------------------------|--------------------------------|---------|----------|
|                               | Testemunha                     | Solo    | Foliar   |
| Ca (g planta <sup>-1</sup> )  |                                |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 0,77 Ba                        | 0,90 Aa | 0,74 Ba  |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 0,57 Ab                        | 0,63 Ab | 0,56 Ab  |
| Mg (g planta <sup>-1</sup> )  |                                |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 0,37 Ba                        | 0,43 Aa | 0,40 ABa |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 0,30 Ab                        | 0,31 Ab | 0,31 Ab  |
| Mn (mg planta <sup>-1</sup> ) |                                |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 2,3 ABa                        | 2,4 Aa  | 2,0 Ba   |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 1,9 Ab                         | 1,7 ABb | 1,5 Bb   |
| Zn (mg planta <sup>-1</sup> ) |                                |         |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa)   | 9,2 Ba                         | 10,8 Aa | 9,7 ABa  |
| Com deficiência (0,060 MPa)   | 7,1 Ab                         | 6,9 Ab  | 6,9 Ab   |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Sob disponibilidade hídrica adequada, o maior acúmulo de Mn foi obtido nas plantas submetidas à aplicação de Si via solo, quando comparado às submetidas à aplicação via foliar (Tabela 19). O acúmulo de Zn foi superior nas plantas tratadas com Si via solo, em relação às não tratadas, na condição de disponibilidade hídrica adequada (Tabela 19). Esse maior acúmulo de Zn nas plantas que receberam Si via solo ocorreu, possivelmente,

devido à maior matéria seca (Tabelas 12 e 13). Não houve diferença significativa no acúmulo desse elemento entre as formas de aplicação de Si sob deficiência hídrica (Tabela 19). A condição de deficiência hídrica reduziu o acúmulo de Mg, Mn e Zn em todos os tratamentos, comparada à condição de disponibilidade de água (Tabela 19).

## 6.2 Resultados das avaliações realizadas 60 DAE

O CMH e o CHA foram influenciados pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si. Entretanto, não houve efeito dos fatores estudados no NHP e na AC (Tabela 20).

Tabela 20. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de hastes por planta (NHP), comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) e acamamento (AC) em plantas de batata aos 60 DAE.

| Tratamentos                         | NHP<br>(nº planta <sup>-1</sup> ) | CMH<br>(cm) | CHA   | AC<br>(%) |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------|-----------|
| Tensões de água no solo (TA)        |                                   |             |       |           |
| Sem deficiência (0,020 MPa)         | 2,4a                              | 99,7        | 102,5 | 100a      |
| Com deficiência (0,060 MPa)         | 2,3a                              | 91,4        | 96,2  | 100a      |
| Formas de aplicação de silício (Si) |                                   |             |       |           |
| Testemunha                          | 2,4a                              | 95,5        | 102,3 | 100a      |
| Solo                                | 2,1a                              | 98,6        | 100,3 | 100a      |
| Foliar                              | 2,5a                              | 92,6        | 95,5  | 100a      |
| Interação TA x Si                   | ns                                | *           | *     | ns        |
| CV (%)                              | 31,6                              | 9,4         | 9,7   | 0,5       |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

O uso do Si via solo proporcionou maior CMH sob deficiência hídrica, em comparação ao tratamento com aplicação via foliar (Tabela 21). Sob disponibilidade hídrica adequada, não houve efeito da aplicação de Si no comprimento médio de hastes. A condição de deficiência hídrica reduziu o CMH de plantas tratadas com Si via foliar. A condição de deficiência hídrica reduziu o CHA de plantas que receberam Si via foliar, comparada à condição de disponibilidade hídrica adequada (Tabela 21).

Tabela 21. Comprimento médio das hastes (CMH), comprimento da haste mais alta (CHA) em plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensões de água no solo     | Formas de aplicação de silício |          |          |
|-----------------------------|--------------------------------|----------|----------|
|                             | Testemunha                     | Solo     | Foliar   |
|                             |                                | CMH (cm) |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 97,4 Aa                        | 99,0 Aa  | 102,8 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 93,5 ABa                       | 98,3 Aa  | 82,4 Bb  |
|                             |                                | CHA (cm) |          |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 103,3 Aa                       | 100,3 Aa | 104,0 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 101,3 Aa                       | 100,4 Aa | 87,0 Ab  |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

O NFP foi influenciado pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 22).

Tabela 22. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no solo no número de folhas na haste principal (NFP) e no número total de folhas por planta (TFP) em plantas de batata aos 60 DAE.

| Tratamentos                    | NFP                        |  | TFP   |
|--------------------------------|----------------------------|--|-------|
|                                | (nº planta <sup>-1</sup> ) |  |       |
| Tensão de água no solo (TA)    |                            |  |       |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 45,3                       |  | 99,7a |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 41,9                       |  | 83,3b |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                            |  |       |
| Testemunha                     | 42,6                       |  | 85,1a |
| Solo                           | 41,6                       |  | 93,1a |
| Foliar                         | 46,5                       |  | 96,1a |
| Interação TA x Si              | *                          |  | ns    |
| CV (%)                         | 25,3                       |  | 19,9  |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Mediante desdobramento, notou-se que não houve diferença significativa no NFP entre as formas de aplicação de Si na condição de disponibilidade hídrica adequada (Tabela 23). Contudo, na condição de deficiência hídrica, as plantas que receberam Si via foliar apresentaram maior número de folhas na haste principal, em relação às que não receberam Si. A deficiência hídrica reduziu o NFP apenas nas plantas que não foram tratadas

com Si (Tabela 23). A utilização do Si via foliar parece contribuir no incremento do número de folhas sob deficiência hídrica, uma vez que o comprimento das hastes das plantas tratadas dessa forma apresentou-se menor que o das hastes das plantas dos demais tratamentos (Tabela 21). No entanto, o total de folhas por planta foi influenciado apenas pela tensão de água do solo com maior número de folhas na condição sem deficiência hídrica (Tabela 22).

Tabela 23. Número de folhas na haste principal (NFP) de plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de silício |          |         |
|-----------------------------|--------------------------------|----------|---------|
|                             | Testemunha                     | Solo     | Foliar  |
|                             | NFP (nº planta <sup>-1</sup> ) |          |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 53,8 Aa                        | 40,5 Aa  | 41,5 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 31,5 Bb                        | 42,8 ABa | 51,5 Aa |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Os teores de clorofila *a* e clorofila *b* na terceira folha a partir do ápice não foram influenciados pelos fatores estudados (Tabela 24). Contudo, o teor de carotenóides foi influenciado pelas tensões de água no solo, sendo reduzido sob condição de deficiência hídrica.

Tabela 24. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si nos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides na terceira folha e na nona folha a partir do ápice de plantas de batata aos 60 DAE.

| Tratamentos                    | 3ª folha               |                |        | 9ª folha       |                |        |
|--------------------------------|------------------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|
|                                | Clor. <i>a</i>         | Clor. <i>b</i> | Carot. | Clor. <i>a</i> | Clor. <i>b</i> | Carot. |
|                                | (µg cm <sup>-2</sup> ) |                |        |                |                |        |
| Tensão de água no solo (TA)    |                        |                |        |                |                |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 6,2a                   | 7,8a           | 1,8a   | 5,9            | 6,5            | 1,7    |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 5,4a                   | 7,6a           | 1,5b   | 5,3            | 6,3            | 1,5    |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                        |                |        |                |                |        |
| Testemunha                     | 5,6a                   | 7,7a           | 1,6a   | 5,6            | 6,4            | 1,6    |
| Solo                           | 6,2a                   | 7,7a           | 1,7a   | 6,0            | 6,7            | 1,7    |
| Foliar                         | 5,8a                   | 7,7a           | 1,6a   | 5,2            | 6,0            | 1,5    |
| Interação TA x Si              | ns                     | ns             | ns     | *              | *              | *      |
| CV (%)                         | 16,5                   | 11,9           | 15,0   | 10,8           | 7,4            | 9,2    |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.



Já os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides na nona folha sofreram efeito da interação entre os fatores (Tabela 24). Mediante desdobramento, observou-se que a maior disponibilidade de Si no solo proporcionou maior teor de clorofila *a* nas folhas em relação aos demais tratamentos, sob deficiência hídrica (Tabela 25 e Figura 1). Em condição de disponibilidade hídrica adequada, não houve efeito da aplicação de Si sobre o teor de clorofila *a*. O uso do Si, tanto via solo quanto foliar, teve efeito positivo nas plantas, mantendo os teores de clorofila *a*, em condição de deficiência hídrica, próximos aos teores obtidos sob disponibilidade de água adequada, o que não foi observado no tratamento sem aplicação de Si (Tabela 25).

Tabela 25. Teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides na 9ª folha de plantas de batata aos 60 DAE em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo   | Formas de aplicação de silício |  |        |
|-----------------------------|--------------------------------|--|--------|
|                             | Testemunha                     | Solo   | Foliar |
|                             |                                | Clorofila <i>a</i> ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 6,0 Aa                         | 6,1 Aa                                       | 5,6 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 5,1 Bb                         | 5,9 Aa                                       | 4,9 Ba |
|                             |                                | Clorofila <i>b</i> ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ ) |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 6,3 Aa                         | 6,6 Aa                                       | 6,5 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 6,6 Aa                         | 6,7 Aa                                       | 5,6 Bb |
|                             |                                | Carotenóides ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )       |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa) | 1,7 Aa                         | 1,7 Aa                                       | 1,6 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa) | 1,5 ABb                        | 1,6 Aa                                       | 1,3 Bb |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Em relação à clorofila *b*, sob deficiência hídrica, os maiores teores foram observados nas folhas de plantas submetidas à aplicação de Si via solo e sem aplicação desse elemento (Tabela 25). A deficiência hídrica reduziu o teor de clorofila *b* apenas nas plantas que receberam Si via foliar. Quanto aos carotenóides, na condição de deficiência hídrica, a aplicação de Si via solo proporcionou seu maior teor em relação à aplicação via foliar (Tabela 25). A condição de deficiência hídrica diminuiu o teor de carotenóides de plantas tratadas com Si via foliar e não tratadas. Entretanto, nas plantas que receberam Si via solo, a deficiência hídrica não interferiu no teor de carotenóides. Segundo Gregory e Simmonds (1992), a cultura da batata é muito sensível à deficiência hídrica em todos os

estágios, especialmente na formação de tubérculos. Os pigmentos fotossintéticos são importantes para as plantas, sendo que a clorofila *a* e a clorofila *b* são propensas a danos por deficiência hídrica. Porém, os carotenóides têm funções adicionais e, parcialmente, contribuem para que as plantas resistam a curtos períodos de déficit hídrico (FAROOQ et al., 2009). Os carotenóides participam do sistema de defesa antioxidante não enzimático, juntamente com a vitamina E, reduzindo o dano causado por espécies reativas de oxigênio (BRAY et al., 2000). Estresse por falta de água induz mudanças nos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides (FAROOQ et al., 2009). A deficiência hídrica provoca o aumento das EROs no interior das células. Os cloroplastos são as organelas com intensiva produção de EROs, com consequente oxidação lipídica e degradação de proteínas e pigmentos fotossintéticos (NIKOLAEVA et al., 2010). Diversos autores verificaram redução no teor de clorofila sob condição de severa deficiência hídrica em girassol e mirtilo (KIANI et al., 2008; MANIRANNAN et al., 2007; TAHKOKORPI et al., 2007). Adatia e Besford (1986) relataram aumento no teor de clorofila total (*a* + *b*) em plantas de pepino cultivadas em solução nutritiva com Si.

Em condição de deficiência hídrica, os resultados obtidos nesse experimento demonstram efeito positivo do fornecimento de Si via solo no teor dos pigmentos foliares, principalmente em folhas mais velhas (Tabelas 24 e 25), mantendo-as fotossinteticamente ativas por um período mais longo.

### **6.3 Resultados das avaliações realizadas no final do ciclo**

O número total de tubérculos por planta e o número de tubérculos da classe Segunda não foram influenciados pelos fatores estudados (Tabela 26). A aplicação de Si influenciou no número de tubérculos da classe Graúda, com maior quantidade produzida nas plantas submetidas à aplicação de Si via solo; porém, sem diferir significativamente do tratamento com aplicação via foliar.

Tabela 26. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no número de tubérculos das classes Graúda, Primeira, Segunda e total de tubérculos em plantas de batata.

| Tratamentos                    | Total | Formas de aplicação de Si (nº planta <sup>-1</sup> ) |                 |                |
|--------------------------------|-------|--|-----------------|----------------|
|                                |       | Classe Graúda  | Classe Primeira | Classe Segunda |
| Tensão de água no solo (TA)    |       |  |                 |                |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 16,3a | 5,0a   | 6,0             | 3,2a           |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 15,7a | 4,0a   | 5,3             | 4,3a           |
| Formas de aplicação de Si (Si) |       |  |                 |                |
| Testemunha                     | 16,4a | 3,5b   | 7,1             | 3,8a           |
| Solo                           | 15,3a | 5,3a   | 4,5             | 3,1a           |
| Foliar                         | 16,3a | 4,8ab  | 5,4             | 4,3a           |
| Interação TA x Si              | ns    | ns   | *               | ns             |
| CV (%)                         | 19,0  | 32,0   | 36,6            | 56,7           |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Já o número de tubérculos da classe Primeira foi afetado pela interação entre os fatores (Tabela 26). Em plantas que não receberam Si, a deficiência hídrica reduziu o número de tubérculos da classe Primeira por planta (Tabela 27). Sob disponibilidade hídrica adequada, o tratamento sem aplicação de Si proporcionou o maior número de tubérculos dessa classe, enquanto sob deficiência hídrica, não houve efeito da aplicação de Si.

Tabela 27. Número de tubérculos da classe Primeira em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água no solo                                   | Formas de aplicação de silício |        |        |
|--|--------------------------------|--------|--------|
|  | Testemunha                     | Solo   | Foliar |
| Tubérculos da classe Primeira (nº planta <sup>-1</sup> ) |                                |        |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa)                              | 8,8 Aa                         | 4,5 Ba | 4,8 Ba |
| Com deficiência (0,060 MPa)                              | 5,5 Ab                         | 4,5 Aa | 6,0 Aa |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

A produtividade total de tubérculos e das classes Graúda e Primeira foram afetadas pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 28). No entanto, não houve efeito dos fatores estudados na produtividade de tubérculos da classe Segunda.

Tabela 28. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si na produtividade total e das classes Graúda, Primeira e Segunda de tubérculos em plantas de batata.

| Tratamentos                    | Total                     | Classe Graúda | Classe Primeira | Classe Segunda |
|--------------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|----------------|
|                                | (g planta <sup>-1</sup> ) |               |                 |                |
| Tensão de água no solo (TA)    |                           |               |                 |                |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 1006,8                    | 609,4         | 342,1           | 55,3a          |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 830,5                     | 493,8         | 266,2           | 70,4a          |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                           |               |                 |                |
| Testemunha                     | 894,4                     | 442,9         | 389,1           | 62,4a          |
| Solo                           | 961,6                     | 693,7         | 216,9           | 51,1a          |
| Foliar                         | 899,9                     | 518,2         | 306,6           | 75,1a          |
| Interação TA x Si              | *                         | *             | *               | ns             |
| CV (%)                         | 10,2                      | 30,5          | 41,8            | 58,6           |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

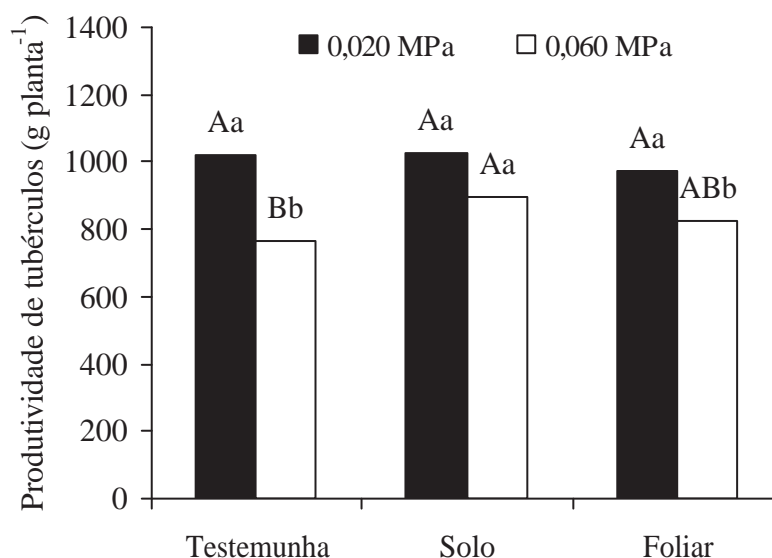


Figura 2. Produtividade total de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si. Letras distintas, minúsculas dentro do fator tensão de água no solo e maiúsculas dentro do fator formas de aplicação de Si, são indicativo de diferença significativa pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Mediante desdobramento (Tabela 29), observou-se que a deficiência hídrica reduziu a produtividade total de tubérculos das plantas que receberam Si via foliar e, mais expressivamente, das que não receberam aplicação do elemento (Tabela 30). A maior

disponibilidade de Si no solo evitou que a deficiência hídrica reduzisse significativamente a produtividade de tubérculos (Tabela 29 e Figuras 1 e 2).

Tabela 29. Produtividade das classes Graúda e Primeira de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo                               | Formas de aplicação de silício |          |           |
|---|--------------------------------|----------|-----------|
|   | Testemunha                     | Solo     | Foliar    |
| Tubérculos da classe Graúda (g planta <sup>-1</sup> )   |                                |          |           |
| Sem deficiência (0,020 MPa)                             | 452,0 Ba                       | 748,9 Aa | 627,3 ABa |
| Com deficiência (0,060 MPa)                             | 433,8 Aa                       | 638,5 Aa | 409,2 Aa  |
| Tubérculos da classe Primeira (g planta <sup>-1</sup> ) |                                |          |           |
| Sem deficiência (0,020 MPa)                             | 515,3 Aa                       | 223,9 Ba | 287,2 Ba  |
| Com deficiência (0,060 MPa)                             | 263,0 Ab                       | 209,8 Aa | 325,9 Aa  |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

Tabela 30. Produtividade relativa de tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo               | Formas de aplicação de silício |       |        |
|---|--------------------------------|-------|--------|
|   | Testemunha                     | Solo  | Foliar |
| Produtividade relativa (%) <sup>1</sup> |                                |       |        |
| Sem deficiência (0,020 MPa)             | 100,0                          | 100,4 | 95,4   |
| Com deficiência (0,060 MPa)             | 75,2                           | 88,0  | 80,8   |

<sup>1</sup>Produtividade relativa considerando-se o tratamento sem deficiência hídrica (0,020 MPa) e sem aplicação de Si como 100%.

A aplicação de Si, especialmente via solo, proporcionou maior produtividade de tubérculos da classe Graúda, sob disponibilidade hídrica adequada. Sob deficiência hídrica, apesar dos maiores valores observados no tratamento com fornecimento de Si via solo, não houve efeito significativo na produtividade de tubérculos da classe Graúda. Já a produtividade de tubérculos da classe Primeira sob disponibilidade hídrica, foi maior nas plantas que não receberam aplicação de Si, em relação às que receberam (Tabela 29). Isso ocorreu devido ao maior número de tubérculos dessa classe encontrados em plantas que não receberam aplicação de Si na condição de disponibilidade hídrica adequada (Tabela 27). Sob deficiência hídrica, não houve diferença significativa na produtividade de tubérculos da classe Primeira entre as formas de aplicação de Si (Tabela 29). Houve menor produtividade de

tubérculos da classe Primeira em plantas não tratadas com Si na condição de deficiência hídrica do que sob disponibilidade hídrica adequada.

Vale destacar que o fornecimento de Si, especialmente via solo, aumentou a produtividade total e o tamanho dos tubérculos, sob condição de deficiência hídrica. Além disso, a aplicação de Si via solo contribuiu para aumentar o tamanho dos tubérculos em condições de disponibilidade hídrica adequada, já que aumentaram os tubérculos na classe Graúda e reduziram os da classe Primeira (Tabela 29 e Figura 2). Em plantas de batatas submetidas à condição de estresse hídrico ocorre a redução de tubérculos comercializáveis e, conseqüentemente, da produtividade (HASSANPANAHI, 2010). Os resultados obtidos nessa pesquisa corroboram os de Crusciol et al. (2009), que relataram aumento de produtividade de tubérculo com a aplicação de Si via solo, tanto em condição de disponibilidade de água adequada, quanto sob deficiência hídrica. Isto demonstra que a disponibilidade de Si para as plantas de batata favorece o aumento de produtividade e o tamanho dos tubérculos.

O teor de matéria seca e o teor de Si nos tubérculos foram afetados pela interação entre as tensões de água no solo e as formas de aplicação de Si (Tabela 31). Já o teor de proteína bruta não foi alterado por esses fatores.

Tabela 31. Efeito de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si no teor de matéria seca, proteína bruta e Si nos tubérculos de plantas de batata, na ocasião da colheita.

| Tratamentos                    | Teor de matéria seca<br>(%) | Teor de proteína bruta<br>(% da mat. fresca) | Teor de Si<br>(g kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------------|
| Tensão de água no solo (TA)    |                             |  |                                     |
| Sem deficiência (0,020 MPa)    | 13,7                        | 1,5a   | 2,0                                 |
| Com deficiência (0,060 MPa)    | 13,4                        | 1,5a   | 2,2                                 |
| Formas de aplicação de Si (Si) |                             |  |                                     |
| Testemunha                     | 12,9                        | 1,4a   | 1,8                                 |
| Solo                           | 13,3                        | 1,5a   | 2,3                                 |
| Foliar                         | 14,4                        | 1,5a   | 2,0                                 |
| Interação TA x Si              | *                           | ns   | *                                   |
| CV (%)                         | 7,7                         | 8,4  | 10,8                                |

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. ns: não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 32. Teor de matéria seca, teor e acúmulo de Si em tubérculos de batata em função de tensões de água no solo e formas de aplicação de Si.

| Tensão de água<br>no solo                       | Formas aplicação de silício |          |         |
|---|-----------------------------|----------|---------|
|   | Testemunha                  | Solo     | Foliar  |
| Teor de matéria seca nos tubérculos (%)         |                             |          |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa)                     | 12,6 Ba                     | 14,0 ABa | 14,6 Aa |
| Com deficiência (0,060 MPa)                     | 13,2 ABa                    | 12,7 Ba  | 14,3 Aa |
| Teor de Si nos tubérculos (g kg <sup>-1</sup> ) |                             |          |         |
| Sem deficiência (0,020 MPa)                     | 1,8 Ba                      | 2,3 Aa   | 1,9 Bb  |
| Com deficiência (0,060 MPa)                     | 1,9 Ba                      | 2,4 Aa   | 2,2 Aa  |

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade.

O maior teor de Si nos tubérculos, sob disponibilidade hídrica adequada, foi obtido quando as plantas receberam aplicação de Si via solo, em comparação aos demais tratamentos (Tabela 32). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Pulz et al. (2008), em que o teor de Si nos tubérculos também foi incrementado pela aplicação via solo em condição de disponibilidade hídrica adequada. Sob deficiência hídrica, as aplicações de Si via solo e foliar aumentaram o teor de Si nos tubérculos, em comparação ao tratamento sem aplicação de Si (Tabela 32). A condição de deficiência hídrica proporcionou maior teor de Si nos tubérculos de plantas que receberam aplicação de Si via foliar, em comparação à condição de disponibilidade hídrica adequada.

## 7. CONCLUSÕES

A deficiência hídrica reduziu o teor relativo de água nas folhas, o teor de pigmentos nas folhas mais velhas, a área foliar, o acúmulo de matéria seca, o acúmulo de Si e nutrientes e a produtividade de tubérculos e aumentou o acamamento das hastes e o teor de prolina.

O fornecimento de Si via solo aumentou o teor de Si e de prolina. A aplicação de Si via foliar também aumentou o teor de prolina e a atividade da SOD em plantas sob deficiência hídrica.

O fornecimento de Si via solo foi mais eficiente em manter a produtividade de tubérculos da cultura da batata sob deficiência hídrica.



## 8. REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. M. Beneficial effects of diatomite on the growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, Milford, v. 2, n. 2, p. 207-220, 2011.

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, Oxford, v. 58, n. 3, p. 343-351, 1986.

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**, Sendai, v. 1, n. 1, p. 96-103, 1998a.

AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, Sendai, v. 1, n. 2, p. 89-95, 1998b.

AGARWAL, S.; PANDEY, V. Stimulation of stress-related antioxidative enzymes in combating oxidative stress in Cassia seedlings. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 8, p. 264-269, 2003.

ALSCHER, R. G.; DONAHUE, J. L.; CRAMER, C. L. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 100, p. 224-233, 1997.

ANJUM, F.; YASEEN, M.; RASUL, E.; WAHID, A.; ANJUM, S. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. **Pakistan Journal of Agricultural Science**, Faisalabad, v. 40, p. 45-49, 2003.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, n. 2, p. 371-375, 1939.

ARRUDA, D. P. **Avaliação de extratores químicos na determinação de silício disponível em solos cultivados com cana-de-açúcar.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia a Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of the Association of the Analytical Chemists.** 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005. 25 p.

BARR, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**, Collingwood, v. 15, p. 413-428, 1962.

BATES, L. S.; WALDEN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, p. 205-207, 1973.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Response to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). **Biochemistry e molecular biology of plants.** Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 1158-1203.

BUCK, G. B.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; COELHO, L. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 2, p. 231, 2008.

CABALLERO, J. I.; VERDUZCO, C. V.; GALAN, J.; JIMENZ, E. S. D. Proline accumulation as a symptom of drought stress in maize: a tissue differentiation requirement. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 39, n. 7, p. 889-897, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.

DA, G. T.; GONG, S. F.; PING, B. L.; YAN, L. Y.; SHENG, Z. G. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v. 5, n. 4, p. 291-298, 2006.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture.** Amsterdam: Elsevier, 2001. 424 p. (Book Series Studies in Plant Science, v. 8).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives.** 2. ed. Sunderland: Sinauer, 2005. 412 p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, California, v. 50, p. 641-644, 1999.

- FARHAD, M. S.; BABAK, A. M.; REZA, Z. M.; HASSAN, R. S. M.; AFSHIN, T. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 5, n. 1, p. 55-60, 2011.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, p. 185-212, 2009.
- FAWE, A.; ABOW-ZAID, M.; MENZIES, J. G.; BELANGER, R. R. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, St. Paul, v. 88, n. 5, p. 396-401, 1998.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2000. 412 p.
- FORTES, G. R. L.; PEREIRA, J. E. S. Batata-semente pré-básica: cultura de tecidos. In: PEREIRA, A. S.; DANIELS, J. (Orgs.). **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 421-433.
- FU, J.; HUANG, B. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 45, n. 2, p. 105-114, 2001.
- FUMIS, T. F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 449-459, 2002.
- GADALLAH, M. A. A. Effects of indol-3-acetic acid and zinc on the growth, osmotic potential and soluble carbon and nitrogen components of soybean plants growing under water deficit. **Journal of Arid Environments**, London, v. 44, p. 451-467, 2000.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxido dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.
- GONG, H.; CHEN, K.; CHEN, G.; WANG, S.; ZHANG, C. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 26, n. 5, p. 1055-1063, 2003.
- GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, Shannon, v. 169, p. 313-321, 2005.
- GREGORY, P. J.; SIMMONDS, L. P. Water relations and growth of potatoes. In: HARRIS, P. M. (Org.). **The potato crop**: the scientific basis for improvement. 2. ed. London: Chapman & Hall, 1992. p. 214-246.

- GUÉVEL, M. H.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 119, n. 4, p. 429-436, 2007.
- GUNES, A.; INAL, A.; BAGCI, E. G.; COBAN, S. Silicon-mediated changes on some physiological and enzymatic parameters symptomatic of oxidative stress in barley grown in sodic-B toxic soil. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 164, p. 807-811, 2007a.
- GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; BAGCI, E. G.; COBAN, S. Influence of silicon on antioxidant mechanisms and lipid peroxidation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, Colchester, v. 2, p. 105-113, 2007b.
- GUNES, A.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1885-1903, 2008a.
- GUNES, A.; KADIOGLU, Y. K.; PILBEAM, D. J.; INAL, A.; COBAN, S.; AKSU, A. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1904-1927, 2008b.
- GUO, Z. G.; LIU, H. X.; TIAN, F. P.; ZHANG, Z. H.; WANG, S. M. Effect of silicon on the morphology of shoots and roots of alfafa (*Medicago sativa*). **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 46, p. 1161-1166, 2006.
- HANG, A. N.; MILLER, D. E. Yield and physiological responses of potatoes to deficit, high frequency sprinkler irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, n. 3, p. 436-440, 1986.
- HASSANPANA, D. Evaluation of potato cultivars for resistance against water deficit stress under in vivo conditions. **Potato Research**, Dordrecht, v. 53, p. 383-392, 2010.
- HATTORI, T.; INANAGA, S.; ARAKI, H.; AN, P.; MORITA, S.; LUXOVA, M.; LUX, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.
- HATTORI, T.; SONOBE, K.; ARAKI, H.; INANAGA, S.; AN, P.; MORITA, S. Silicon application by sorghum through the alleviation of stress-induced increase in hydraulic resistance. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 8, p. 1482-1495, 2008.
- ILER, R. K. **The chemistry of silica: solubility, polymerization, colloid and surface chemistry and biochemistry**. New York: John Wiley & Sons, 1979. 896 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola: produção de lavouras temporárias no Brasil em 2010. Disponível em:

<[http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/tabelas\\_pdf/tabela01.pdf](http://ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/tabelas_pdf/tabela01.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2011.

KAY, M. C.; DAVID, E. E.; MARTIN, J. H. The amelioration of aluminum toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an in plant mechanism? **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 104, p. 608-614, 1998.

KIANI, S. P.; MAURY, P.; SARRAFI, A.; GRIEU, P. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. **Plant Science**, Shannon, v. 175, p. 565-573, 2008.

KLASSEN, G.; MILLS, G.; GEISEL, B. Potato production: irrigation. In: MAROUELLI, W. A.; GUIMARÃES, T. G. **Irrigação na cultura da batata**. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata, 2006. 66 p.

KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A.; OLIVEIRA, L. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 39 p. (Boletim Técnico, 2).

KOSHIBA, T. Cytosolic ascorbate peroxidase in seedlings and leaves of maize (*Zea mays* L.). **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 34, n. 5, p. 713-721, 1993.

LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO-JÚNIOR, L. A.; SILVA, A. F. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 19, n. 2, p. 15-20, 2003.

LEE, D. W.; BREMMEIER, S.; SMITH, A. P. The selective advantage of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, Hoboken, v. 19, p. 40-49, 1987.

LIANG, Y. C.; DING, R. X.; LIU, Q. Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. **Scientia Agricultura Sinica**, Beijing, v. 32, n. 6, p. 75-83, 1999.

LIMA, M. D. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 335-340, 2004.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; NEVES, H. K. B.; LOPES, M. J. S. Physiological and biochemical behavior in soybean (*Glycine max* cv. *Sambabia*) plants under water deficit. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 2, p. 25-23, 2008.

LOCARNO, M.; FOCHI, C. F.; PAIVA, P. D. O. Influência da adubação silicatada no teor de clorofila em folhas de roseira. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 287-290, 2011.

LORENZI, J. O.; MONTEIRO, P. A.; MIRANDA FILHO, H. S.; RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.

- (Orgs.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. p. 221-229. (Boletim Técnico, 100)
- LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 43, p. 107-153, 1990.
- MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, Chiyoda-ku, v. 50, p. 11-18, 2004.
- MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Orgs.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p. 17-39.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science, 2002. 503 p.
- MA, J. F.; YAMAJI, N. Functions and transport of silicon in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 65, p. 3049-3057, 2008.
- MAFAKHERI, A.; SIOSEMARDEH, A.; BAHRAMNEJAD, B.; STRUIK, P. C.; SOHRABI, Y. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 4, n. 8, p. 580-585, 2010.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 308 p.
- MALI, M.; AERY, N.C.; Effect of silicon on growth, biochemical constituents, and mineral nutrition of cowpea. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 40, n. 6, p. 1041-1052, 2009.
- MALKIN, R.; NIYOGI, K. Photosynthesis. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Orgs.). **Biochemistry e molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. p. 568-628.
- MANIRANNAN, P.; ABDUL JALEEL, C.; SANKAR, B.; KISH OREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; LAKSHMANAN, G. M.; PANNEERSELVAM, R. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 59, p. 141-149, 2007.
- MANSFIEL, T. J.; ATKINSON, C. J. Stomatal behaviours in water stressed plants. In: ALSCHER, R. G.; CUMMING, J. R. (Orgs.). **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms**. New York: Wiley-Liss, 1990. p. 241-264.

- MAROUELLI, W. A.; GUIMARÃES, T. G. **Irrigação na cultura da batata**. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata, 2006. 66 p. (Publicação Técnica).
- MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A. D. M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, p. 902-905, 1992.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, London, v. 7, p. 405-410, 2002.
- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Chiyoda-ku, v. 29, p. 71-83, 1983.
- MONAKHOVA, O.F.; CHERNYADÈV, I.I. Protective role of karolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. **Journal of Applied Biochemistry and Microbiology**, Moscow, v. 38, n. 4, p. 433-440, 2002.
- MOUSA, H. R.; ABDEL-AZIZ, S. M. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 1, p. 31-36, 2008.
- NADLER, A.; HEUER, B. Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality. **Potato Research**, Dordrecht, v. 38, n. 2, p. 119-123, 1995.
- NIKOLAEVA, M. K.; MAEVSKAYA, S. N.; SHUGAEV, A. G.; BUKHOV, N. G. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 57, n. 1, p. 87-95, 2010.
- NONAMI, H. Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. **Journal of Plant Research**, Kudan-kita, v. 111, n. 3, p. 373-382, 1998.
- OLIVEIRA, C. A. S.; VALADÃO, L. T. **Manejo da água do solo no cultivo da batata**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1997. 8 p. (Comunicado Técnico, 3).
- PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, A. M. Aluminum effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, n. 3, p. 137-43, 1999.
- PEREIRA, H. S.; BARBOSA, N. C.; CARNEIRO, M. A. C.; KORNDORFER, G. H. Avaliação de fontes e de extratores de silício no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 239-247, 2007.
- POLJAKOFF, M.; GALE, J. **Plants in saline environments**. Berlin: Springer Verlag, 1975. 213 p.

- PULZ, A. L.; CRUSCIOL, C. A. C.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1651-1659, 2008.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 11, p. 223-236, 1973.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, Cambridge, v. 58, n. 1, p. 179-207, 1983.
- REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 161, p. 1189-1202, 2004.
- RICHARDS, L. A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, Philadelphia, v. 68, p. 95-112, 1949.
- TAHKOKORPI, M.; TAULAVUORI, K.; LAINE, K.; TAULAVUORI, E. Aftereffects of drought- related winter stress in previous and current year stems of *Vaccinium myrtillus* L. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 61, p. 85-93, 2007.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2010. 782 p.
- TEIXEIRA, J.; PEREIRA, S. High salinity and drought act on an organ-dependent manner on potato glutamine synthetase expression and accumulation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 121-126, 2006.
- TONIN, F. B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- TOPP, G. C.; GALGANOV, Y. T.; BALL, B. C.; CARTER, M. R. Soil water desorption curves. In: CARTER, M. R. (Org.). **Soil sampling and methods of analysis**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993. p. 569-579.
- WAHID, A.; RASUL, E. Photosynthesis in leaf, stem, flower, and fruit. In: PESSARAKLI, M. (Org.). **Handbook of Photosynthesis**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. p. 479-497.
- WANG, S. Y.; GALLETA, G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal of Plant Nutrition**, Lismore, v. 21, n. 1, p. 157-167, 1998.



WRIGHT, J. L.; STARK, J. C. Potato. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (Orgs.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990. p. 859-888.

XIONG, L., ZHU, J. K. Molecular and genetic aspects of plant response to osmotic stress. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 131-139, 2002.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin of the National Institute of Agronomic Science Serie B**, Tokyo, v. 15, p. 1-58, 1975.

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

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.