

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de  
Catalogação e Classificação

B922s Buck, Guilherme Bossi, 1974-  
Silicato de potássio aplicado via foliar e a incidência da brusone em  
arroz / Guilherme Bossi Buck . - Uberlândia, 2006.  
66 f. : il.  
Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pro-  
grama de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.  
1. Arroz - Adubação - Teses. 2. Adubação foliar - Teses. 3. Brusone  
- Teses. 4. Silício na agricultura - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique.  
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. III. Título.

DU: 633.18:631.81

GUILHERME BOSSI BUCK

SILICATO DE POTÁSSIO APLICADO VIA FOLIAR E A INCIDÊNCIA DA  
BRUSONE EM ARROZ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração  
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer

Co-orientador

Prof. Dr. Lísias Coelho

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

GUILHERME BOSSI BUCK

SILICATO DE POTÁSSIO APLICADO VIA FOLIAR E A INCIDÊNCIA DA  
BRUSONE EM ARROZ

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-  
graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração  
em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 30 de junho de 2006.

Prof. Dr. Antonio Nolla  
(co-orientador)

UFU

Prof. Dr. Lísias Coelho

UFU

Prof. Dr. Takashi Muraoka

CENA/USP

Prof. Dr. Gaspar Henrique Körndorfer  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2006

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Paulo e Sônia e  
a Camila, Alnir e Rafael.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À DEUS, por permitir-me atingir mais este estágio, em meio a tantas dificuldades.

Ao professor Dr. Gaspar Henrique Korndörfer, pelo aceite à orientação desta minha trajetória acadêmica, paciência, dedicação, idealização, encaminhamento, oportunidades e apoio para a realização e desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Antonio Nolla e Dr. Lísias Coelho, pela co-orientação, apoio e conselhos no decorrer do projeto.

Ao Departamento de Solos em geral junto ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

À Silifértil, por conceder bolsa de estudos durante o curso de pós-graduação.

À Ineos Sílicas, por fomentar o “Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura” com o fornecimento de recursos e produtos.

Ao Dr. Anne Satirama Prabhu, da EMBRAPA, por ceder material para complementação do projeto.

Aos meus pais, Paulo e Sônia, e à minha irmã, Camila, pelo apoio e compreensão durante mais esta etapa da minha vida e todas as outras.

Ao Eduardo Serafim, pelo apoio e incentivo para que concluísse esta etapa.

Aos companheiros da graduação, que também foram vitais no apoio do projeto, Leonardo da Silva Araújo, Henrique Tomás Marçal e João Paulo T. Correia.

À todos os colegas do “Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura” e às técnicas responsáveis pelo LAFER, Valéria e Carla.

Aos técnicos do LABAS, pelo apoio nas análises, e também à Cida, da secretaria da pós-graduação, que tanto nos apoiaram.

À todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| RELAÇÃO DE TABELAS.....  | i   |
| RELAÇÃO DE FIGURAS.....  | iii |
| RESUMO .....   | iv  |
| ABSTRACT.....  | v   |
| 1 - Introdução .....   | 01  |
| 2 - Revisão bibliográfica .....  | 02  |
| 2.1 - Silício no solo .....  | 02  |
| 2.2 - Silício na planta .....  | 02  |
| 2.3 - Silício e as doenças fúngicas .....  | 04  |
| 2.4 - Adubação foliar.....   | 07  |
| 3 - Referências bibliográficas.....  | 10  |
| CAPÍTULO I: Testes preliminares.....   | 15  |
| 1 - Resumo.....  | 16  |
| 2 - Abstract.....  | 17  |
| 3 - Introdução .....   | 18  |
| 4 - Hipóteses.....   | 18  |
| 5 - Materiais e métodos.....   | 18  |
| 5.1 - Variação de doses .....  | 18  |
| 5.2 - pH da solução .....  | 19  |
| 6 - Resultados e discussão.....  | 20  |
| 7 - Conclusões .....   | 25  |
| 8 - Referências bibliográficas.....  | 26  |
| CAPÍTULO II: Silicato de potássio aplicado via foliar e a incidência da brusone em arroz ..... | 27  |
| 1 - Resumo.....  | 28  |
| 2 - Abstract.....  | 29  |
| 3 - Introdução.....  | 30  |
| 4 - Hipóteses.....   | 30  |
| 5 - Materiais e métodos .....  | 30  |
| 5.1 - Tratamentos .....  | 32  |
| 5.2 - Inoculação do patógeno.....  | 35  |

|   |    |
|---|----|
| 5.3 - Delineamento estatístico .....            | 36 |
| 6 - Resultados e discussão.....                 | 36 |
| 6.1 - Incidência da brusone .....               | 38 |
| 6.2 - Teor de si na folha do arroz.....         | 39 |
| 6.3 - Acúmulo de si na matéria seca .....       | 42 |
| 6.4 - Massa de matéria seca da parte aérea..... | 43 |
| 6.5 - Massa de panícula .....                   | 44 |
| 7 - Conclusões .....                            | 46 |
| 8 - Referências bibliográficas .....            | 47 |

## RELAÇÃO DE TABELAS

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Tabela 1-   | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido clorídrico 500 g L <sup>-1</sup> .....                                       | 22 |
| Tabela 2 -  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido clorídrico 100 g L <sup>-1</sup> .....                                       | 23 |
| Tabela 3 -  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido acético 500 g L <sup>-1</sup> .....  | 23 |
| Tabela 4 -  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido cítrico 20 g L <sup>-1</sup> .....   | 23 |
| Tabela 5 -  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido cítrico 500 g L <sup>-1</sup> .....  | 24 |
| Tabela 6 -  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição de solução Mehlich - I.....   | 24 |
| Tabela 7 –  | pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido fosfórico 500 g L <sup>-1</sup> .....  | 24 |
| Tabela 8 –  | Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) utilizado no experimento.....  | 31 |
| Tabela 9 -  | Relação dos tratamentos e respectivas doses de Si, quantidade do produto, pH da solução e número de aplicações utilizadas no experimento.....                   | 33 |
| Tabela 10 - | Disposição em grupos de comparação (A, B e C) entre os tratamentos propostos.....   | 33 |
| Tabela 11 – | Efeito de fontes, doses, número de aplicações e pH da calda sobre os teores de Si nas folhas, peso de panícula, matéria seca da parte aérea e Si acumulado..... | 37 |
| Tabela 12 – | Efeito das doses de Si aplicadas via foliar sobre os teores de Si nas folhas, Si na parte aérea, peso de matéria seca e peso de panícula.....                   | 40 |
| Tabela 13 - | Efeito de doses de Si, aplicadas via foliar, em 2 aplicações, sobre a produção de matéria seca do arroz e peso de panícula, coletadas ao final do ciclo.....    | 45 |



|   |    |
|---|----|
| Tabela 14 - Efeito do nº de aplicações de uma solução de $K_2SiO_3$ , a pH 10,5, na dose de $800\text{ g ha}^{-1}$ de Si, sobre a produção de matéria seca da parte aérea e peso de panícula do arroz, coletadas ao final do ciclo..... | 46 |
|---|----|

## RELAÇÃO DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Figura 1 -  | Efeito do Si aplicado via foliar ( $K_2SiO_3$ ) sobre a concentração de Si nas folhas do arroz.....  | 20 |
| Figura 2 -  | Efeito do Si aplicado via foliar ( $K_2SiO_3$ ) sobre a concentração de Si nas folhas do sorgo.....  | 21 |
| Figura 3 -  | Folha não afetada.....   | 21 |
| Figura 4 -  | Folha apresentando fitotoxidez.....  | 21 |
| Figura 5 -  | Refratômetro.....  | 25 |
| Figura 6 -  | Compressor com atomizador.....   | 36 |
| Figura 7 -  | Inoculação do patógeno.....  | 36 |
| Figura 8 -  | Acondicionamento das plantas.....  | 36 |
| Figura 9 -  | Acondicionamento das plantas.....  | 36 |
| Figura 10 - | Efeito das doses de Si aplicadas via foliar (solução pH 5,5 e 10,5) na incidência de brusone do arroz ( <i>Pyricularia oryzae</i> ).....                   | 38 |
| Figura 11 - | Efeito do parcelamento da adubação foliar de $4\text{ g L}^{-1}$ de Si na cultura do arroz (solução de silicato de potássio à pH 10,5).....                | 43 |
| Figura 12 - | Efeito do parcelamento da aplicação de Si via folha ( $4\text{ g L}^{-1}$ - solução pH 10,5) sobre a produção de matéria seca da parte aérea do arroz..... | 44 |
| Figura 13 - | Efeito do silicato de potássio aplicado na dose de $4\text{ g L}^{-1}$ de Si em solução pH 10,5 sobre o peso de panícula do arroz.....                     | 45 |

## RESUMO

BUCK, GUILHERME BOSSI. **Silicato de potássio via foliar e o controle da incidência da brusone do arroz.** 2006. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

O Silício (Si) é reconhecido como “elemento benéfico” para as plantas. Os benefícios diretos e indiretos do elemento para as culturas (principalmente gramíneas) estão relacionados com a tolerância a doenças, pragas e ao estresse hídrico. Como a maioria destes estudos foram conduzidos com fertilizantes aplicados via solo, faz-se necessário estudos relacionados à eficiência das plantas em absorver Si via folha. Visando estudar a absorção do Si via foliar no controle da incidência de brusone (*Pyricularia oryzae*), instalou-se um experimento utilizando-se o silicato de potássio ( $K_2SiO_3$ ) em diferentes doses (0, 1, 2, 4, 8 e 16 g L<sup>-1</sup> de Si), número de aplicações e variação do pH da calda. Para tal, cultivou-se o arroz (*Oryza sativa*) em vasos (cultivar Metica 1 - suscetível a brusone), adotando-se o delineamento inteiramente casualizado. O silicato foi aplicado a partir do 22º dia após a emergência (DAE) da cultura. O patógeno (brusone) foi inoculado no 25º DAE. Avaliou-se a incidência do patógeno dez dias após a inoculação. As aplicações de silicato de potássio via foliar não aumentaram a absorção e acúmulo de Si na parte aérea da planta, porém, houve redução da incidência da brusone. Para o controle da incidência da brusone, a dose de Si mais indicada foi a de 4 g L<sup>-1</sup>, independente do pH da solução. Não houve diferença entre o número de vezes em que foram aplicadas a dose de 4 g L<sup>-1</sup> de Si.

Palavras-chave: adubação foliar, nutrição mineral, pH da solução.

---

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Antonio Nolla – UFU (Co-orientador) e Lísias Coelho – UFU (Co-orientador).

## ABSTRACT

BUCK, Guilherme Bossi. **Potassium silicate as foliar spray and rice blast incidence control**. 2006. 66p. Dissertation (Master program Agronomy/Soil). Federal University of Uberlandia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Silicon (Si) is now recognized as a beneficial element for the plants. The direct and indirect benefits of the element for the cultures (mainly grasses) are related to tolerance to diseases, pests and to water stresses. As most of these studies were done with fertilizers applied to the soil, studies related to the efficiency of the plants in absorbing Si through the leaves are necessary. The study of the absorption of Si through the leaves in blast incidence (*Pyricularia oryzae*), was done in an experiment using potassium silicate ( $K_2SiO_3$ ) in different doses (0, 1, 2, 4, 8 and 16 g L<sup>-1</sup> Si), number of applications and variation of the pH of the tank mixture. For such, rice (*Oryza sativa*) was cultivated in rots (cultivar Metica 1 - susceptible to blast), in a completely randomized design. Silicate was applied starting from the 22<sup>nd</sup> day after seedling emergence (DAE). The pathogen (*P. oryzae*) was inoculated on the 25<sup>th</sup> DAE. Disease incidence was evaluated ten days after the inoculation. The foliar application of potassium silicate did not increase the absorption and accumulation of Si in the aboveground parts of the plant; however, there was a decrease in blast incidence. The best Si dose for blast incidence reductor was 4 g L<sup>-1</sup>, independent of the solution pH. There were no differences among the number of times in that 4 g L<sup>-1</sup> Si was applied.

Keywords: foliar fertilizer, mineral nutrition, pH solution

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Adviser), Antonio Nolla – UFU (Co-adviser) e Lísias Coelho – UFU (Co-adviser).

## 1- INTRODUÇÃO

O elemento Si tem sido considerado como um nutriente benéfico (RAIJ et al., 1973) para um grande número de culturas, particularmente gramíneas. Seu efeito está normalmente ligado ao controle de pragas e doenças. Plantas bem nutridas com Si apresentam, em geral, uma resistência maior ao ataque de pragas e doenças fúngicas. Os efeitos do Si no aumento da produção das culturas estão relacionados ao mecanismo de defesa física da planta pela deposição do elemento entre a lamela média e a epiderme da folha, indução de fenóis, que conseqüentemente estimulam as fitoalexinas, à diminuição do acamamento, redução da transpiração, aumento da capacidade fotossintética e ainda outros efeitos (KORNDÖRFER et al., 2004).

O intuito de pesquisar sobre o fornecimento de Si foliar foi de descobrir alternativas viáveis de fertilização do nutriente, em menores quantidades, que pudessem suprir as plantas de Si ou então estimular seus efeitos benéficos. É obvio que a necessidade deste estudo se deu pelo fato de explorar as vantagens desta técnica, que seriam, um menor consumo de fertilizante (uma vez que a adubação foliar consiste no fornecimento de pequenas quantidades de nutrientes direcionados à folha), menor custo, facilidade de aplicação, boa qualidade de matéria-prima do fertilizante (sem impurezas), fertilizantes de alta solubilidade em água e disponibilidade do produto no mercado sem problemas de logística. Com relação às desvantagens, seriam: baixa eficiência agrônômica (baixa absorção de Si pela planta), pouca opção de fertilizantes solúveis para aplicação via foliar (apenas o silicato de potássio e de sódio), produto com dificuldade de mistura em solução com outros fertilizantes e risco de toxidez.

É importante ressaltar que a fonte de Si, muito utilizada em vários trabalhos com fertilização foliar, é o silicato de potássio, e que pela sua forma química já existem estudos relacionando-o ao controle de doenças fúngicas associadas a fungicidas, não somente pelo aspecto da nutrição, mas também pela supressão ao desenvolvimento ou inibição do patógeno.

A importância do Si na nutrição das plantas é ainda maior no caso da agricultura orgânica, já que é proibido o uso de biocidas (inseticida, fungicidas, nematicidas, etc.) no controle de pragas e doenças. Neste caso, o fornecimento de Si através da adubação pode contribuir para o aumento da produção e proteção das culturas no sistema orgânico. Epstein (2001) citou alguns exemplos de ações benéficas que o Si é capaz de promover na planta, em casos cientificamente comprovados, tais como: resistência ao

ataque de organismos patogênicos; melhor estruturação da arquitetura das plantas; resistência à herbivoria de insetos fitófagos; redução da fitoxides das plantas causadas por metais pesados; maior tolerância das plantas em ambiente salino; redução dos efeitos de estresse hídrico; proteção contra efeitos de temperaturas extremas; promoção da formação de nódulos simbióticos em leguminosas; efeitos em atividades enzimáticas e, em geral, composição mineral das plantas.

## 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Silício no solo

Werner et al. (1983) relataram sobre a grande abundância de Si na biosfera em geral. Porém, mesmo com esta abundância toda, existem regiões como a dos cerrados, por exemplo, que são pobres em Si disponível para as plantas nos horizontes superficiais (RAIJ et al., 1973), tornando-se, muitas vezes, incapazes de suprir a necessidade das culturas em geral, principalmente das gramíneas.

No solo, os íons  $\text{SiO}_4^{4-}$  reagem com  $\text{H}^+$ , formando ácido monossilícico, que é a forma assimilada pela planta. Na solução do solo, o  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  comporta-se como um ácido muito fraco, de forma que em pH 7,0, apenas 0,2% ioniza-se na forma carregada negativamente  $\text{SiO}(\text{OH})_3^-$ . Com o aumento de pH, pode-se aumentar o grau de ionização (BRAGA, 2004).

Alguns fatores do solo que influenciam a concentração de Si na solução do solo podem ser a composição mineralógica e textural, o processo de ciclagem do nutriente, acidez do solo e predominância de íons na solução (MCKEAGUE et al., 1963).

### 2.2 - Silício na planta

A importância do uso do Si para as culturas como o arroz, cana-de-açúcar, entre outras, já foi demonstrada por Okuda e Takahashi (1964), no Japão; Ayres et al. (1966) e Raposa (1967), no Havai; Halais (1968), nas Ilhas Maurício; Gascho e Andreis (1974), Gascho (1978), Snyder et al. (1986) e Anderson et al. (1987), na Flórida.

Algumas espécies de gramíneas, por exemplo, cana-de-açúcar e arroz, principalmente, chegam a acumular na folha quantidades de Si entre 10 a 50 g  $\text{kg}^{-1}$  de sua matéria seca. Como comparativo, pode-se citar o caso do fósforo (P), onde as mesmas culturas mencionadas acima, quando bem nutridas, chegam a acumular de 1,8 a 2,2 g  $\text{kg}^{-1}$  de P na folha.

O silício, sendo absorvido em grande quantidade, pode estimular diferentes mecanismos de defesa das plantas. Estes efeitos podem ser diretos, como é o caso da barreira mecânica, ou indireto, como a indução dos fenóis (fitoalexinas), que são compostos orgânicos tóxicos para várias espécies de fungos e insetos (RODRIGUES et al., 2004).

Segundo Yoshida (1965), a absorção de Si da solução do solo ocorre de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo transpiratório de água que é absorvido pelas raízes das plantas. Durante o processo ativo, a água é perdida através da transpiração e o Si é depositado nos tecidos das plantas. Quando a concentração de Si aumenta na planta, o ácido monossilícico se polimeriza.

Mutami e Ma (2005), pesquisando sobre o transporte de Si em arroz, pepino e tomate, mostraram que entre estas espécies existe uma escala média de valor de Si transportado, seguindo a ordem arroz > pepino > tomate, caracterizando assim o arroz como planta mais eficiente no transporte do Si. Isso se deve a uma primeira fase da absorção radicular, onde há gasto de energia na captação do nutriente, portanto, uma forma de transporte ativo, no qual especificamente ao arroz, o torna mais eficiente em absorver e posteriormente translocar o elemento. Esta captação ativa de Si em plantas superiores deve-se ao gene Low silicon rice1 (Lsi1), que codifica uma proteína que está localizada na membrana celular da raiz e é fundamental para a captação de Si (MA et al., 2006).

Os efeitos do Si, na maioria das vezes estão relacionados ao Si adicionado à fertilização via solo, geralmente na forma de algum silicato. Estes silicatos podem ser de origem sintética, natural ou então oriunda das escórias de siderurgia. Entretanto, independente da origem, estes silicatos, pelas suas propriedades agrônomicas, são aplicados ao solo em grandes quantidades. No Japão, a média de silicato aplicada por hectare nas áreas de arroz atinge cerca de 1,5 a 2,0 ton ha<sup>-1</sup> de escória, com teores de Si por volta de 220 g kg<sup>-1</sup> de Si (DE DATTA, 1981). Já os silicatos de potássio e sódio, de origem sintética, possuem alto grau de solubilidade, podendo apresentar maior eficiência em relação ao fornecimento de Si para as plantas, e podendo ser aplicado diretamente na parte vegetativa da planta.

Datnoff et al. (1997), estudando a supressão de patógenos com a fertilização a base de Si, observaram que o arroz responde à adubação silicatada com maior intensidade positivamente em relação à cultura da cana-de-açúcar, devendo-se este fato estar ligado a diferenciação entre genótipos de arroz com maiores e menores índices de

absorção e acúmulo de Si, apresentando desta forma, diferentes níveis de respostas aos efeitos do elemento.

Em estudos realizados em casa-de-vegetação com 10 diferentes genótipos de arroz, na condição de solo extremamente pobre em Si, com três níveis de fertilização no solo à base de silicato de cálcio, sendo a testemunha, 2,0 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de Ca<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, obtiveram-se níveis de absorção e acúmulo crescentes e proporcionais ao aumento das doses, com médias de 3,2, 12,9 e 24,9 g kg<sup>-1</sup> de Si, encontradas na matéria seca das folhas respectivamente às doses (DEREN et al., 1992). Ainda em casa-de-vegetação, trabalhando com duas cultivares de arroz muito utilizadas nos Estados Unidos, em solos pobres em Si, quando aplicado 5 Mg ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio, houve resposta significativa, com incremento de 33% de acúmulo de biomassa, incluso panícula, grãos, folhas, caule e raízes (DEREN, 1996a, 1996b; DEREN, 1997).

Trabalhando com arroz inundado, durante o período de 1992 a 1996, Korndörfer e Datnoff (2000), com 23 experimentos de campo, observaram um aumento médio da produção de grãos de 1.007 kg ha<sup>-1</sup> nas parcelas que receberam Si na forma de silicato de cálcio aplicado ao solo.

### **2.3 – Silício e as doenças fúngicas**

Wagner (1940), como um dos primeiros a registrar redução da severidade de um patógeno em uma planta hospedeira, observou que houve uma relação entre a deposição de H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> nos sítios de infecção de míldio e o grau de resistência da planta. Houve, possivelmente, uma silicificação das células epidérmicas, comprometendo a esporulação e conseqüentemente a penetração e colonização do fungo.

A brusone, causada pelo ascomiceto *Magnaporthe grisea* (*Pyricularia grisea*, forma anamorfa) (ROSSMAN et al., 1990), é geralmente considerada a principal doença fúngica da cultura do arroz, devido à sua distribuição e voracidade em condições favoráveis (OU, 1985), causando danos significativos na produtividade (PRABHU et al., 1986). As lesões são formadas principalmente nas folhas durante seus estádios de crescimento, e após a emissão das panículas, o patógeno infecta a panícula ou a sua haste, dividindo o patossistema da brusone em dois subsistemas principais: brusone das folhas e brusone das panículas (TENG et al., 1991).

Pesquisas realizadas em solos orgânicos no sul da Flórida (EUA) demonstraram que a fertilização com Si, na cultura do arroz, reduziu a incidência de brusone entre 17 e 31% e helmintosporiose entre 15 e 32%, em relação à testemunha que não recebeu Si



(DATNOFF et al., 1991). Sendo assim, a adubação com Si pode reduzir e até eliminar as aplicações de fungicidas durante o ciclo da cultura, conforme o grau de infecção do patógeno.

Hashimoto e Hirano (1976), avaliando doenças fúngicas no arroz, concluíram que houve diminuição da brusone na ordem de 13% com silicato de cálcio no solo, 22% com fungicida (Hinosan) e 27% quando da associação do silicato com o fungicida, constatando assim uma sinergia entre o Si e a ação do fungicida.

A ciclagem de matéria seca de plantas acumuladoras de Si também é considerada fonte potencial de fornecimento do nutriente, pois, segundo Berni (2001), foi possível reduzir a severidade da brusone nas folhas com a utilização de casca de arroz e suas cinzas, como fontes de Si.

Menzies et al. (1992) atestam o aumento da resistência das monocotiledôneas a determinadas doenças fúngicas, tais como o oídio, uma vez que é detectado o aumento do Si na planta, proporcionando maior tolerância desta ao patógeno. Isso já fora observado outras vezes: em trigo, com oídio (*Erysiphe graminis*) (GERMAR, 1934); sorgo resistente a antracnose (*Colletotrichum graminicolum*) (NARWAL, 1973); cevada e trigo resistentes a oídio (JIANG et al., 1989; KUNOH; ISHIZAKI, 1976; LEUSCH; BUCHENAUER, 1989; SARGENT; GAY, 1977) e arroz resistente a brusone (*Pyricularia oryzae*), mancha parda (*Bipolaris oryzae*) e *Corticium sasakii* (ALESHIN et al., 1986; DATNOFF; SNYDER, 1991; MATHAI et al., 1978; VOLK et al., 1958).

Outras doenças também são afetadas pela adubação com silício. Rodrigues et al. (2000) verificaram aumento no teor de Si nas plantas com a aplicação de silicato de cálcio no solo, resultando na redução do aparecimento de novas lesões, causadas pela “queima da bainha” (*Rhizoctonia solani*) nas bainhas do arroz e no comprimento relativo das mesmas.

A princípio, as monocotiledôneas, por pertencerem ao grupo das plantas acumuladoras de Si, tendem a dar mais resultados positivos em relação ao fornecimento de Si. Porém, isso não é regra, pois, segundo Grothge-Lima (1998), relacionando o fornecimento de Si através da solução nutritiva para a cultura da soja, notou que houve uma redução de até 90 % da extensão da lesão.

Os mecanismos de defesa das plantas, ativados pelo fornecimento de Si, são basicamente de natureza física, o que já é sabido até mesmo por se conhecer a composição das plantas no que diz respeito ao requerimento de Si. Algumas espécies em particular, como é o caso do arroz, que demonstra avidez pelo elemento em grandes

quantidades, ressaltam o mecanismo de barreira mecânica. Porém, em menores quantidades, a resistência das plantas às doenças pode ser aumentada através da alteração das respostas da planta ao ataque do parasita, aumentando a síntese de toxinas (fitoalexinas) que naturalmente têm ação fungistática do Si contra alguns patógenos. Isso foi observado por Chérif et al. (1994), quando extraíram compostos fenólicos de pepino tratados com Si e infectados por *P. ultimum* e *P. aphanidermatum*, apresentando uma ativação rápida e intensa de peroxidases e polifenoloxidasas que possuem eficácia em suprimir certos patógenos. A resistência ao patógeno ocorre quando estes compostos (fenólicos) acumulam-se rapidamente e em altas concentrações, no local da infecção, resultando na eliminação do patógeno (PAXTON, 1991; FOSKET, 1994).

Bowen et al. (1992) observaram que o Si aplicado via foliar pode ser absorvido e translocado através da folha. Porém, é necessário um suprimento contínuo de Si via foliar, ao longo do ciclo da cultura, para que haja um aumento da resistência do hospedeiro. Samuels et al. (1991), trabalhando com pepino e infectando-os com *S. fulginea*, puderam notar que quando se transferiram as plantas para um meio contendo Si, estas apresentaram uma rápida silificação do tecido foliar, principalmente nas bases do tricoma e ao redor dos pontos de infecção. Porém, quando outras plantas foram submetidas ao meio isento de Si, a mesma reação de acúmulo de Si não pôde ser observada, apesar da existência de Si residual na base dos tricomas, demonstrando que, em casos de incidência do patógeno, o fornecimento contínuo do elemento pode resultar em maior resistência do hospedeiro. Com base nesta informação, cria-se a demanda de fracionar as doses de Si, ao se trabalhar com o fornecimento do nutriente via foliar.

A aplicação de silicato de cálcio e silicato de sódio em pepino reduziu a incidência da murcha das folhas (GAMA et al., 2003). A redução da incidência a murcha do pepino pôde ser observada com a aplicação de 2.000 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> de silicato de cálcio e 2.250 a 4.500 kg ha<sup>-1</sup> de silicato de potássio (MIYAKE; TAKAHASHI, 1983).

Junior et al. (2004), trabalhando com controle de mudas de cacaueteiro, contra um fungo de solo causador da murcha (*Verticillium dahliae*), aplicaram fungicidas, com princípios ativos: Azoxystrobin (0,1 g L<sup>-1</sup>), Acibenzolar S-metil (0,2 g L<sup>-1</sup>) e silicato de potássio, nas dosagens de 1,5 e 3,0 mL L<sup>-1</sup>, e puderam notar que o controle mais eficiente da murcha foi obtido com o silicato de potássio a 1,5 mL L<sup>-1</sup>.

## 2.4 – Adubação foliar

O interesse pelo fornecimento de nutrientes minerais, através das folhas às plantas, cresce significativamente no país. Em geral, sabe-se que o fornecimento de nutrientes via foliar não substitui a nutrição via solo, que é mais comumente utilizada e certamente muito mais difundida (CAMARGO; SILVA, 1990). Porém, existem micronutrientes que podem ser fornecidos quase que exclusivamente com adubação foliar. Segundo Wittwer et al. (1963) e Camargo (1970), existem trabalhos evidenciando, por exemplo, que em certas hortaliças a aplicação de 8,32 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco via foliar correspondeu à aplicação de 104 kg ha<sup>-1</sup> do mesmo fertilizante no solo; em sorgo granífero, apenas duas pulverizações foliares de 283 litros ha<sup>-1</sup> de sulfato ferroso, a 4%, resultaram em uma produção maior que a correspondente a uma aplicação de 520 kg ha<sup>-1</sup> da mesma fonte aplicada diretamente ao solo, desta forma, acarretando evidentemente um menor custo.

A adubação foliar é uma técnica e, como toda técnica, existem fatores que influenciam seu desempenho. Dentre uma gama de fatores, alguns destes, inerentes à solução, podem ser de grande importância, tais como, dose, concentração, pH da solução, forma química e a interação com outros nutrientes, pois um nutriente é considerado absorvido apenas quando estiver dentro da célula. A absorção foliar compreende uma fase passiva (penetração cuticular) e uma fase ativa (absorção celular). Para que se obtenha bons resultados, geralmente o nutriente precisa ser translocado para locais de maior demanda dentro da planta (DECHEN, 1992). Ainda, a absorção dos micronutrientes pode ser melhorada quando estes estiverem em forma quelatizada.

Os quelatos podem ser definidos como um colóide protetor (eletro negativo) que envolve um íon metálico (eletro positivo), gerando um íon metálico quelatizado (neutro), cuja absorção se torna facilitada em função do balanço de cargas na superfície foliar, independentemente de outras cargas para o balanço ideal e, conseqüentemente, atingindo uma absorção quase que instantânea (DECHEN, 1992). Segundo Ferrandon e Chamel (1988), existem diferenças entre absorção e translocação, pois, em trabalho realizado com diferentes formas de quelatos, entre as quais, sulfato, EDTA, EDDHA e DTPA, aplicando via foliar, ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), notou-se que para o Fe o melhor quelato foi o EDTA, proporcionando a maior absorção e translocação, já para o Mn, o maior índice de absorção foi através do DTPA, porém a melhor translocação foi obtida com o EDTA. No caso do Zn, também foram notadas diferenças, pois a melhor absorção fora obtida com o sulfato e a maior translocação com EDTA. De certa forma,

esta questão dos quelatos não influencia no estudo de aplicação do silicato de potássio via foliar, pois a composição química, que o Si se encontra neste caso, está na forma de sal e não especificamente como um íon metálico. Sendo assim, a forma de fornecimento do Si não depende da neutralização das cargas para ser absorvido pela planta, da mesma forma ocorre com o ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) no fornecimento de boro (B) via foliar. Diferentemente é a questão do pH da solução, pois esta sim deve ser levada em consideração, podendo causar alguma influência quando se trata de absorção foliar de nutrientes.

Uma vez que a solução contendo silicato de potássio é alcalina, acredita-se que, com a redução do pH da calda para uma condição de pH em torno de 5,5, tenha-se um amplo benefício em casos que haja necessidade da adição de outros nutrientes à solução, além do Si. De qualquer forma, não existem relatos de nutrientes estarem sendo absorvidos em soluções com pH extremamente ácido ou alcalino. Como exemplo de soluções multinutrientes, Shu et al. (1991) determinaram que a absorção de boro (B) foi máxima em pH 7,0 a 8,0. Este pH é próximo ao melhor pH para absorção de Zn, mas em soluções multinutrientes podem ocorrer problemas, pois a uréia (ROSOLEM et al., 1990), o fósforo, potássio (ROSOLEM, 1984) e cálcio (CHAMEL, 1988) são melhor absorvidos em pH bem mais baixo.

A adubação com Si via foliar, assim como acontece via solo, contribui de forma significativa no controle de doenças. Resultados positivos na redução de doenças com a aplicação de Si foliar foram observados em cultivos hidropônicos de pepino com a aplicação de 100, 500, 1000 e 2000 mg kg<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub> (silicato de potássio) (MENZIES et al., 1992). As pulverizações com Si foliar foram feitas um dia antes da inoculação com conídios de oídio. A dose de 500 mg kg<sup>-1</sup> de Si foi a que mais reduziu o número de colônias de oídio sobre as folhas. Doses superiores a esta (500 mg kg<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>) não afetaram significativamente a redução do oídio. Na Europa, o silicato de potássio é utilizado por meio de pulverizações foliares para o controle de míldio em pepino e roseiras (BÉLANGER et al., 1995).

Algumas espécies de plantas, tais como o tomateiro e a videira, são pouco capazes de transportar o Si do sistema radicular para a parte aérea, entretanto, Menzies et al. (1992) e Bowen et al. (1992) demonstraram que o Si aplicado via foliar pode controlar doenças nestas culturas. A aplicação foliar de Si pode agir sobre as doenças através da criação de uma barreira física à penetração das hifas ou induzindo a acumulação de fenóis e/ou outros mecanismos de defesa.

Bowen et al. (1992), testando Si aplicado no solo e na folha de videira, sendo a aplicação foliar à base de silicato de sódio, pôde notar maior eficiência no controle de oídio com aplicação foliar do silicato, pois houve redução na severidade do patógeno e da germinação dos conídios do fungo.

Segundo Menzies et al. (1992) a principal função da aplicação de Si foliar está relacionada ao controle de organismos patogênicos, tais como, redução do número de colônias de fungo em pepino e cucurbitáceas e redução do grau de infestação de brusone em arroz (ALESHIN et al., 1996). O acúmulo de Si, através da deposição pela aplicação do silicato de potássio, pode promover a prevenção da germinação do conídio e sua penetração, e conseqüentemente, diminuir a influência do patógeno na cultura (MENZIES, 1992).

Com relação às fontes de Si solúveis com boas possibilidades de uso via foliar, há uma restrição, segundo Iler (1979), dentre os silicatos solúveis, formados a partir de metassilicatos de potássio ou sódio. Os mesmos tendem a formar polímeros facilmente, quando se aumenta a quantidade de  $H_4SiO_4$  na solução. Sendo assim, podem formar ácidos polissilícicos de baixo peso molecular, o que pode ocasionar problemas com a solução do produto, acarretando cristalização da solução, passando do estado líquido para o sólido com aspecto gelatinoso.

Gama (2003), trabalhando com pepino em casa-de-vegetação, estudou o efeito do Si aplicado via foliar, relacionando-o ao controle de doenças fúngicas. Foi utilizado o silicato de potássio e silicato de sódio como fontes de Si via foliar em uma única dose de  $1000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si. Avaliou-se a incidência e severidade das doenças previamente inoculadas ao experimento [*Colletotrichum gloesporioides* (Antracnose) e *Erysiphe cichoracearum* (Oídio)], apresentando redução na incidência do oídio e da antracnose e na severidade do oídio. Barretti et al. (2004), trabalhando também com pepino em relação à antracnose e oídio, constataram que no tratamento onde fora aplicado silicato de potássio houve controle da antracnose para todas as três avaliações realizadas, e para o oídio, onde foram realizadas duas avaliações, o controle foi efetivo para a segunda avaliação. Ainda com relação ao controle da antracnose pela ação do silicato de potássio, na cultura do feijão, Dutra et al. (2004), constataram que houve controle da incidência da doença no decorrer do ciclo da cultura.

### 3 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of a rice-sugarcane rotation to calcium silicate slag on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.531-535, 1987.

ALESHIN, N. E.; AVAKYRAN, E. R.; DYANKUNCHAK, S. A.; ALESHIN, E. P.; BARYSHOK, V. P.; VORONKOV, M. G. Role of silicon in resistance of rice to blast. **Doklady Akademii Nauk SSSR**, v.291, p.499-502, 1986.

AYRES, R. S. Calcium silicate as a growth stimulant for sugarcane on low silicon soils. **Soil Science Society of America**, Madison v.101, p.216-227, 1966.

BARRETTI, P. B.; DUTRA, M. R.; MIRANDA, J. C.; MALUF, L. E. J.; RESENDE, M. L. V. Efeito de produtos alternativos no controle de Antracnose e Oídio em plantas de pepino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 37., 2004, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. p.S215.

BÉLANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Diseases**, Texas, v.79, n.4, 1995.

BERNI, R. F. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.31, n.1, p.71-78, 2001.

BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D.; SAMUELS, L.; GLASS, A. D. M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.906-912, 1992.

BRAGA, A. M. C. **Eficiência de fontes e doses de fertilizantes contendo silício na adubação do arroz inundado e do sorgo**. 123f. 2004. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

CAMARGO, P. N. e SILVA O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: HERBA, 1990.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, Texas, v.84, n.3, p.236-242, 1994.

DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. Silicon in Agriculture. In: \_\_\_\_\_. **Studies in Plant Science**. Amsterdam: Elsevier, 2001, 393p.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H. Effect of calcium silicate on brusone and intensities and yield of rice. **Plant Disease**, Texas, v.75, n.7, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Peterborough, v.16, p.525-531,

1997.

DECHEN, A. R. **Adubação, produtividade e ecologia**. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 425p.

DE DATTA, S. K. **Principles and practices of rice production**. New York, Wiley-Interscience Publications, 1981.

DEREN, C. W. Photosynthesis and yield components of silicon-fertilized rice grown in a disease-free environment. In: RICE TECHNICAL WORKING GROUP, 26., 1996, Texas. **Proceedings...** Texas: [s.n.], 1996.

DEREN, C. W. Photosynthesis, biomass partitioning and nutrient concentration of silicon-fertilized rice. **Agronomy Abstract**, Madison, p.101, 1996b.

DEREN, C. W. Changes in nitrogen and phosphorus concentrations of silicon-fertilized rice grown on organic soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, p.765-777, 1997.

DEREN, C. W.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Variable silicon content of rice cultivars grown on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.2363-2368, 1992.

DUTRA, M. R.; MIRANDA, J. C.; BOTELHO, D. M. S.; RESENDE, M. L. V. Efeito de produtos alternativos no controle de antracnose do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 37., 2004, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. p.S213.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. In: **Silicon in agriculture**. DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. Amsterdam: elsevier, 2001. p.1-15.

FERRANDON, M.; CHAMEL, A. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic forms. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.11, n.3, p.247-263, 1988.

FOSKET, D. E. **Plant growth and development: a molecular approach**. San Diego: Academic Press, 1994. 580p.

GAMA, A. J. M. **Controle de doenças fúngicas na cultura do pepino com adubação de silício via foliar**. 63f. 2003. Monografia. (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

GASCHO, G. J.; ANDRIES, H. J. Sugarcane response to calcium silicate slag applied to organic and sand soils. **International Society of Sugarcane Technologists**, Mauritius, v.15, p.543-551, 1974.

GASCHO, G. J. Response of sugarcane to calcium silicate slag. I. Mechanisms of response in Florida. **Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc.**, v.15, p.543-551, 1974.

GERMAR, B. Some functions of silicic acid in cereals with special reference to resistance to mildew. Z. **Planzenemahr Dung. Bodenk**, v.35, p.102-115, 1934.

GROTHGE-LIMA, M. T. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 58f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

HALAIS, P. E DAVY, J. Notes on the 1:100,000 agro-climatic map of Mauritius. **Mauritius Sugar Industry Research Institute, occasional paper**, Mauritius, n.23, 1968.

ILER, R. K. **The chemistry of sílica**. New York: Wiley Interscience, 1979.

JIANG, D; ZEYEN, R. J.; RUSSO, V. Silicon enhances resistente of barley to powdery mildew (*Erysiphe graminis f. sp. hordei*). **Phytopathology**, Texas, v.79, p.1198, 1989.

JUNIOR, P. M. R.; PEREIRA, R. B.; CAVALCANTI, F. R.; BOAS, C. H. V.; RESENDE, M. L. V. Mudras de cacauero contra *Verticillium dahliae*. CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 37., 2004, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. p.S261.

KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: BALIZAR, V. C.; DUNCAN, R. R. **Crop as enhancers of nutrient use**. New York: Academic Press, 1991. 574p.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, 2004.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (Boletim técnico, v.2). Uberlândia: UFU, 2004. 50f.

KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF L. E. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 5. **Anais...** Piracicaba: [s.n.], 2000.

KUNOH, H.; ISHIZAKI, H. Accumulation of chemical elements around the penetration sites of *Erysiphe graminis hordei* on barley leaf epidermis. II. Level of silicon in papilla around the haustorial neck. Annu. **Phytopathology Society of Japan**, Kobe, v 42, p.30-34, 1976.

LEUSCH, H. J.; BUCHENAUER, H. Effect of soil treatments with silica-rich lime fertilizers and sodium trisilicate on the incidence of wheat by *Erysiphe graminis* and *Septoria nodorum* depending on the form of N-fertilizer. **Journal of Plant Disease And Protection**, Stuttgart, 96, p.154-172, 1989.

MA, J. F.; TAMAI, K.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. Asilicon transporter in rice. **Nature**,



Londres, v. 440, p.688-691, 2006.

MATHAI, G.; PAILY, P. V.; MENON, M. R. Effect of fungicides and silica in the control of sheath blight disease of rice caused by *Corticium saskii Shiriai*. **Agriculture Research Journal of Kerala**, Kerala, v.19, n.1, p.79-83, 1978.

McKEAGUE, J. A. E CLINE, M. G. Silica in soil solutions, In: The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soil. **Canadian Journal of Soil Science**, Lethbridge, v. 43, n.1, p.70-82, 1963.

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. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.902-905, 1992.

MUTANI, M.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.56, p.1255-1261, 2005.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, Boston, v.29, p.71-83.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. Studies on the physiological role of silicon in crop plant: IX. Effect of various metabolic inhibitors on the silicon uptake by rice plant. **Journal of Soil Science Manure Japan**, Manure, v.33, p.453-455, 1962b.

OU, S. H. **Rice diseases**. 2. ed. Kew: Common Wealth Mycological Institute, Kew, 1985. 380p.

PAXTON, J. D. Assays for antifungal activity. **Methods in Plant Biochemistry**, Londres, v.6, p.33-46, 1991.

PRABHU, A. S.; FARIA, J. C.; CARVALHO, J. R. P. Efeito da brusone sobre a matéria seca, produção de grãos e seus componentes, em arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, p.495-500, 1986.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. **Sílica solúvel em solos**. **Bragantia**, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.

RODRIGUES, F.A. **Fertilização silicatada na severidade da queima das bainhas (*Rhizoctonia solani* Kühn) do arroz**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

RODRIGUES, F. Á.; McNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: A potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, Texas, v.94, p.177-183, 2004.

ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L. Absorção de uréia via foliar pelo algodoeiro em função do pH da solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n.4, p.491-497, 1990.

ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984 Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, 1984. p.419-449.

ROSSMAN, A. Y.; HOWARD, R. J.; VALENT, B. *Pyricularia grisea*, the correct name for rice blast disease fungus. **Mycologia**, Stanford, v.82, p.509-512, 1990.

SNYDER, G. H.; JONE, D. B.; GASCHO, G. J. Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols. **Soil Science Society of Americal Journal**, Madison, v.50, p.1259-1263, 1986.

SHU, Z. H.; WU, W. Y.; OBERLY, G. H. Boron uptake by peach leaf. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, n.8, p.867-881, 1991.

YOSHIDA, S. Chemical aspectsof the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bull. Natl. Inst. Agric. Sci.**, Kobe, v.15, p.1-58 [J, E]. 1965.

TENG, P. S.; KLEIN-GEGBINCK, H. W.; PINNSCHMIDT, H. An analysis of the blast pathosystem to guide modeling and forecasting. In: \_\_\_\_\_ **Rice blast modeling and forecasting**. Los Banos: International Rice Research Institute, 1991. p.1-30.

VOLK, R. J.; KAHN, R. P.; WEINTRAUB, R. L. Silicon content of rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the rice blast fungus, *Pyricularia oryzae*. **Phytopathology**, Texas, v.48, p.179-184, 1958.

WAGNER, F. Die bedeutung der kieselsäure für das wachstum einiger kulturpflanzen, ihren nährstoffhaushalt und ihre anfälligkeit gegen echte mehltapilze. **Phytopathologische Zeitschrift**, Berlin, v.12, p.427-479, 1940.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LAUCH A.; BIELSKY R. L. (Ed). **Inorganic plant nutrition**, Berlin: Spring-Verlog, 1983. p.682-694. (New Series, v.15B).

WITTWER, S. H., BUKOVAC, M. J.; TUKEY, H. B. Advances in foliar feeding of plant nutrientes. In: VICKAR, M. H; BRIGDGGER, G, L.; NELSON, L. B. (Ed). **Fertilizer: technology and usage**. Madison: Soil Sciense Societ of America, 1963.

## **CAPÍTULO I: TESTES PRELIMINARES**

## 1 – RESUMO

BUCK, GUILHERME BOSSI. **Testes preliminares**. 2006. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Com base no conhecimento da eficiência da adubação silicatada em arroz e sorgo, foi desenvolvido uma primeira fase de pré-testes, antes mesmo de ser iniciado o teste definitivo com adubação foliar à base de silicato de potássio. Em função do número restrito de informações na literatura sobre o fornecimento de Si foliar, esta fase avaliou parâmetros práticos e técnicos para uso mais eficiente da técnica. Os principais parâmetros avaliados foram: variação de doses de Si, redução do pH da solução e consequentemente, como aplicar, número de aplicações, horário de aplicação e intervalo entre as aplicações. Notou-se que a variação das doses de Si a serem aplicadas foi de 1 a 16 g L<sup>-1</sup>, com dois valores de pH da solução, sendo 10,5 em condição normal de mistura com o silicato de potássio e 5,5 reduzido com adição de ácido fosfórico (500 g L<sup>-1</sup>). Alguns tratamentos com maiores concentrações de silicato de potássio, em solução a pH 10,5, provocaram efeito de fitoxides nas folhas do sorgo.

Palavras-chave: manejo de adubação, redução de pH, dose de silício.

---

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Antonio Nolla – UFU (Co-orientador) e Lísias Coelho – UFU (Co-orientador).

## 2 - ABSTRACT

BUCK, GUILHERME BOSSI. **Preliminary tests**. 2006. 66p. Dissertation (Master program Agronomy/Soil). Federal University of Uberlandia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Based on the knowledge for efficacy of silicate fertilization in rice and sorghum, preliminary tests were done before starting definitive tests foliar fertilization of potassium silicate. Due to the limited information in the literature on the supply of foliar Si, these tests evaluated practical and technical parameters for more efficient use of the technique. The parameters evaluated were: variation of Si doses, reduction of the solution pH, number of applications, schedule of application and interval among the applications. The Si doses applied varied from 1 to 16 g L<sup>-1</sup>, with two solution pH values, being 10.5 the normal potassium silicate condition and 5.5 reduced with addition of phosphoric acid (500 g L<sup>-1</sup>). Some treatments with greater concentrations of potassium silicate in solution to pH 10.5 induced phytotoxic effect in sorghum leaves.

Keywords: handling fertilization, pH reduction, silicon rates.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Adviser), Antonio Nolla – UFU (Co-adviser) e Lísias Coelho – UFU (Co-adviser).

### **3 – INTRODUÇÃO**

O preparo da solução é fundamental para o sucesso da adubação foliar, pois pode afetar a absorção dos nutrientes ou então causar injúrias. Desta forma, deve-se considerar a qualidade da fonte de fertilizante a ser utilizada, a solubilidade dos nutrientes, a concentração da solução, a adição de surfactantes e o pH da calda (CAMARGO; SILVA, 1990).

Antes de avaliar o efeito do silício aplicado via foliar sobre o controle da brusone e produção do arroz, testes preliminares foram realizados para identificar as doses de Si mais adequadas, a concentração de Si na solução e o pH da solução mais apropriado. Esta fase se fez necessária pelo fato de praticamente não existirem trabalhos que se possam utilizar como referência.

### **4 – HIPÓTESES**

- Identificar a melhor dose para aplicação do silicato de potássio;
- Reduzir o pH da solução com um ácido que seja eficiente e de baixo consumo para atingir o ponto ideal de pH.

### **5 – MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **5.1 - Variação de doses**

Visando obter informações sobre as doses mais adequadas de Si via foliar, foi realizado um experimento com arroz, cultivar Epagri 109, em ambiente protegido (casa-de-vegetação), utilizando vasos com capacidade para 5,0 kg de terra, com cinco plantas por vaso e terra com teor de Si de 1,1 mg dm<sup>-3</sup>. Todos os vasos receberam calcário, para atingirem uma saturação por bases de 50%, como também 25 g de superfosfato simples e 50 g de cloreto de potássio por 50 kg de solo.

As doses de Si foliar aplicadas foram: 0, 400 e 800 g ha<sup>-1</sup> de Si, utilizando-se como fonte o silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), que contém 26% de SiO<sub>2</sub> e possui densidade de 1,38. Desta forma, foram diluídos no volume de solução 1.709 e 3.418 g ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, respectivamente. O volume de calda utilizado foi o equivalente a 200 L ha<sup>-1</sup>. O pH da calda não foi alterado, permanecendo entre 10,5 e 11,0 durante a aplicação. As aplicações dos tratamentos foram realizadas aos 35 dias após emergência do arroz e a

amostragem de folhas para análise aos 55 dias da emergência. Foram coletadas as folhas do terço médio das plantas, totalizando dez folhas por vaso. As folhas foram lavadas em três etapas, água, água + detergente neutro a 50% e água destilada. Após a lavagem, foram secas a 65°C, por 73 horas, moídas e submetidas à análise de Si na folha, segundo o método descrito por Korndörfer et al. (2004).

Um segundo experimento foi instalado, visando ampliar as doses de Si aplicados via foliar. Neste experimento, o sorgo, cultivar BR 601, foi cultivado em ambiente protegido (casa-de-vegetação), utilizando-se vasos com capacidade para 5,0 kg de terra e cinco plantas por vaso. O teor de Si no solo, antes da instalação do experimento, era de 4,0 mg dm<sup>-3</sup> de solo. Todos os vasos receberam calcário para elevar a saturação por bases até 50%. Foi adicionado 25 g de superfosfato simples e 50 g de cloreto de potássio por 50 kg de solo.

Foram adicionadas doses maiores em relação ao primeiro teste: 0, 400, 800, 1.600 e 3.200 g ha<sup>-1</sup> de Si, utilizando-se a mesma fonte de silicato de potássio (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Desta forma, foram diluídos no volume de calda 0, 1.709, 3.418, 6.836 e 13.672 g ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, respectivamente e proporcionalmente a um volume de calda para aplicação na ordem de 200 L ha<sup>-1</sup>, permanecendo o pH da calda sem ajustes entre 10,5 e 11. Todas as demais operações foram realizadas de forma semelhante ao descrito no primeiro teste com arroz.

## **5.2 - pH da solução**

As soluções de silicato de potássio apresentam pH ao redor de 11 e 12 (BOWEN et al., 1992), que não é indicado para soluções de nutrientes visando a absorção via foliar. O melhor aproveitamento dos nutrientes pelas folhas, em geral, ocorre quando as soluções (fertilizantes foliares) apresentam pH entre 4 e 8 (SHU et al., 1991; ROSOLEM et al., 1990; CHAMEL, 1988; ROSOLEM, 1984).

Durante esta etapa de ajuste do pH da solução (calda), diferentes ácidos foram adicionados às soluções de silicato de potássio, visando reduzir o pH da solução, que inicialmente era em torno de 10 a 11, tendo em vista que, quanto mais ácida a solução de silicato, mais acentuado é o efeito da polimerização.

Foram realizados testes com o objetivo de baixar o pH até aproximadamente 5 a 6, para melhor aproveitamento pelas plantas, aplicado via foliar. Para acidificar as soluções de K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, foram utilizados os seguintes ácidos: clorídrico (500 g L<sup>-1</sup>), clorídrico (100 g L<sup>-1</sup>), acético (500 g L<sup>-1</sup>), acético (20 g L<sup>-1</sup>), cítrico (500 g L<sup>-1</sup>), Mehlich

- I e fosfórico ( $500 \text{ g L}^{-1}$ ). As soluções foram preparadas nas seguintes concentrações, 0, 1, 2, 4, 8 e  $16 \text{ g L}^{-1}$  de Si, em béquer contendo 100 mL de cada solução. A adição de cada ácido deu-se por tentativas, aumentando as quantidades de cada redutor aritmeticamente, quantificando o volume dos ácidos que foram sendo utilizados para redução do pH até próximo de 6,0, que era o desejado, ou então até a alteração do estado líquido para sólido na condição de gel.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro teste realizado com arroz mostrou que o silicato de potássio interferiu na concentração de Si das folhas. Quanto maior a dose aplicada, maior a concentração de Si, havendo um incremento de 33 % em relação à testemunha (Figura 1).

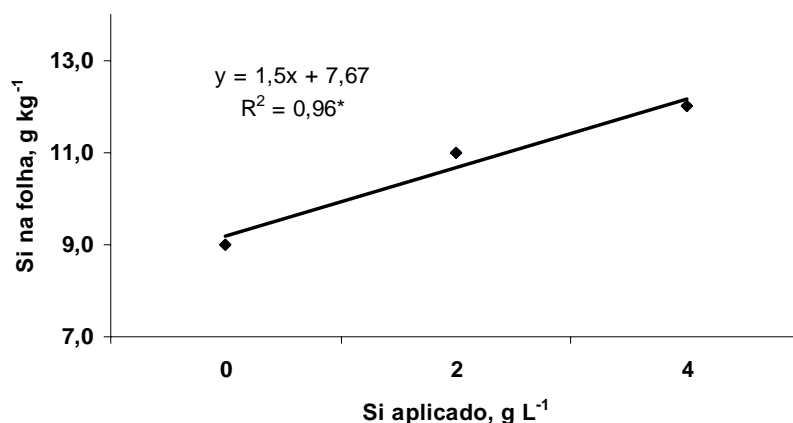


Figura 1 - Efeito do Si aplicado via foliar ( $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ) sobre a concentração de Si nas folhas do arroz.

A Figura 2 abaixo, mostra os teores de Si, na folha, absorvido pelo sorgo, segundo as doses de Si crescentes, onde nota-se que praticamente não houve acúmulo de Si na folha, diferente do que havia sido notado no arroz, de acordo com o primeiro teste.



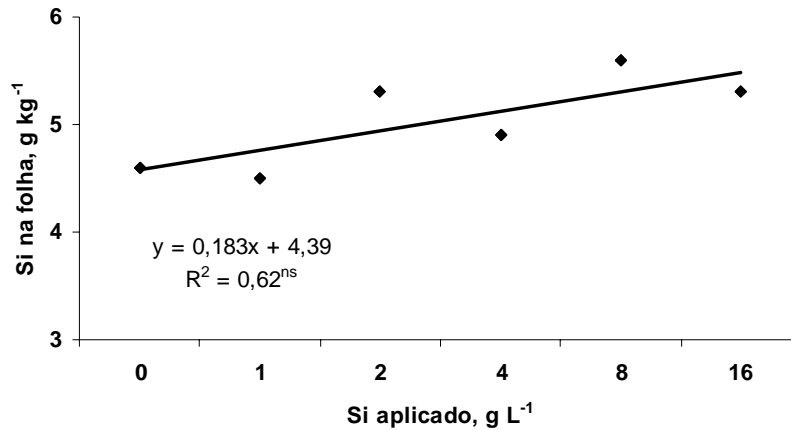


Figura 2 - Efeito do Si aplicado via foliar ( $K_2SiO_3$ ) sobre a concentração de Si nas folhas do sorgo.

As concentrações de Si nas folhas do sorgo foram inferiores às do arroz (Figura 2). A Figura 2 mostra que o Si aplicado via foliar teve pouca influência na acumulação do mesmo pelo sorgo, isto é, os incrementos de Si foliares não foram significativos, indicando que o Si aplicado na folha não foi absorvido.

Outro aspecto avaliado nesta fase foi o efeito fitotóxico da solução de silicato de potássio, ainda no sorgo, com concentrações elevadas. Neste caso, acima de  $4 \text{ g L}^{-1}$  de Si, aplicados de uma só vez, foram observados lesões foliares (Figura 4), enquanto que na figura 3 ( $2 \text{ g L}^{-1}$  de Si) a folha não foi afetada.



Figura 3 – Folha não afetada.



Figura 4 – Folha apresentando fitotoxidez.

Figuras 3 e 4 – Fitotoxidez de silicato de potássio, em folhas de sorgo, na ausência de sintomas (Figura 4) e presença dos sintomas (Figura 3).

Muitos dos problemas com adubação foliar que acarretam fitotoxidez ou, de forma geral, lesões foliares estão ligados a fatores como: pH da solução, temperatura

ambiente, forma química dos elementos, fase fenológica da planta, estresse hídrico ou nutricional, espessura e composição da cutícula, entre outros (KANNAN, 1991).

Com relação à redução do pH das soluções em diferentes concentrações, muitas vezes não foi possível atingir o pH esperado, que era em torno de 5,5 a 6,0, ou seja, pelo fato do silicato de potássio possuir um poder tamponante relativamente forte, na adição da maioria dos ácidos, o pH reduzia de aproximadamente 9 para 2 a 3, repentinamente. Isto se deve quando se adicionou o ácido clorídrico tanto a 500 g L<sup>-1</sup> (Tabela 1), quanto a 100 g L<sup>-1</sup> (Tabela 2). Nos casos do ácido acético 500 g L<sup>-1</sup> (Tabela 3), ácido cítrico 20 g L<sup>-1</sup> (Tabela 4) e ácido cítrico 500 g L<sup>-1</sup> (Tabela 5), as reduções não foram tão drásticas, atingindo valores de pH em torno de 4,5 a 6, porém, com adição de grandes volumes dos respectivos ácidos, que comparados ao volume da solução, tornam-se inviáveis.

A solução de Mehlich – I (Tabela 6) em momento algum reduziu o pH da solução, nem mesmo usando grandes quantidades em quaisquer das concentrações (g L<sup>-1</sup>) utilizadas. A melhor alternativa para o ajuste do pH próximo de 6 foi o ácido fosfórico 500 g L<sup>-1</sup> (Tabela 7), onde se pôde obter uma faixa de pH em torno de 5,5 a 6, sem que a solução alterasse seu estado físico. O ácido fosfórico demonstrou ser o mais eficiente na redução do pH, comparado com os demais ácidos, pois também é fonte de fósforo, elemento importante na nutrição da planta.

Tabela 1 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido clorídrico a 500 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | HCl requerido, MI |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                         | 0,00              | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 2,20 | 3,20 | 4,20 | 5,20  |
|                         | ----- pH -----    |      |      |      |      |      |      |       |
| 1                       | 10,3              | 9,9  | 8,8  | 1,8  | 1,2  | 1,1  | 1,0  | 0,9   |
| 2                       | 10,5              | 10,2 | 9,9  | 1,9  | 1,3  | 1,1  | 1,0  | 1,0   |
| 4                       | 10,8              | 10,8 | 10,7 | 10,2 | 1,5  | 1,2  | 1,1  | 1,0   |
| 8                       | 11,3              | 11,1 | 11,0 | 10,8 | 9,5  | 1,8  | 1,4  | 1,1   |
| 16                      | 11,3              | 11,2 | 11,2 | 11,1 | 10,8 | 10,3 | 9,1  | 1,8 * |

\* Alteração de estado líquido para o estado sólido (gelatinoso)

Tabela 2 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido clorídrico a 100 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | HCl requerido, mL |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 0,00              | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 4,70 |
|                         | ----- pH -----    |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                       | 9,4               | 10,0 | 10,0 | 9,5  | 2,6  | 2,0  | 1,8  | 1,7  |
| 2                       | 9,5               | 10,5 | 10,5 | 10,3 | 10,0 | 9,5  | 7,5  | 2,2  |
| 4                       | 10,1              | 10,9 | 10,9 | 10,8 | 10,6 | 10,5 | 10,4 | 10,2 |
| 8                       | 10,9              | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 10,9 | 10,9 | 10,8 | 10,8 |
| 16                      | 11,2              | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,2 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |

Tabela 3 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido acético a 500 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | Ácido acético requerido, mL |      |      |      |      |       |       |       |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
|                         | 0,00                        | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 1,70 | 2,70  | 3,70  | 4,70  |
|                         | ----- pH -----              |      |      |      |      |       |       |       |
| 1                       | 10,1                        | 9,4  | 4,6  | 3,9  | 3,5  | 3,3   | 3,2   | 3,1   |
| 2                       | 10,5                        | 10,3 | 9,7  | 4,6  | 4,1  | 3,8   | 3,7   | 3,5   |
| 4                       | 10,8                        | 10,7 | 10,6 | 8,9  | 4,7  | 4,4   | 4,1   | 4,0   |
| 8                       | 11,0                        | 11,0 | 10,9 | 10,6 | 6,4  | 5,0   | 4,6   | 4,5   |
| 16                      | 11,2                        | 11,2 | 11,1 | 11,0 | 10,6 | 8,5 * | 5,1 * | 4,8 * |

\* Alteração de estado líquido para o estado sólido (gelatinoso)

Tabela 4 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido cítrico a 20 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | Ácido cítrico requerido, mL |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 0,00                        | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 4,70 |
|                         | ----- pH -----              |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                       | 10,0                        | 10,1 | 10,0 | 9,9  | 9,6  | 9,2  | 7,2  | 5,9  |
| 2                       | 10,3                        | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,4 | 10,3 | 10,2 | 10,1 |
| 4                       | 10,9                        | 11,0 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |
| 8                       | 11,1                        | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,0 |
| 16                      | 11,4                        | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,2 | 11,2 |

Tabela 5 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido cítrico a 500 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | Ácido cítrico requerido, mL |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                         | 0,00                        | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 4,70  |
|                         | ----- pH -----              |      |      |      |      |      |      |       |
| 1                       | 9,4                         | 10,0 | 9,4  | 4,5  | 3,1  | 2,8  | 2,6  | 2,5   |
| 2                       | 9,4                         | 10,6 | 10,4 | 8,6  | 4,5  | 3,7  | 3,3  | 3,1   |
| 4                       | 10,4                        | 10,8 | 10,7 | 10,4 | 6,4  | 4,9  | 4,2  | 3,9   |
| 8                       | 10,6                        | 11,1 | 11,1 | 10,9 | 10,5 | 9,1  | 6,1  | 5,4   |
| 16                      | 11,2                        | 11,2 | 11,2 | 11,1 | 11,0 | 10,8 | 10,5 | 9,5 * |

\* Alteração de estado líquido para o estado sólido (gelatinoso)

Tabela 6 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição de solução Mehlich - I.

| g L <sup>-1</sup> de Si | Mehlich - I requerido, mL |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 0,00                      | 0,05 | 0,20 | 0,70 | 1,70 | 2,70 | 3,70 | 4,70 |
|                         | ----- pH -----            |      |      |      |      |      |      |      |
| 1                       | 10,4                      | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,8 | 10,3 | 10,2 | 10,2 |
| 2                       | 10,2                      | 10,5 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 10,3 | 10,3 |
| 4                       | 10,9                      | 11,0 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,9 | 10,8 | 10,8 |
| 8                       | 11,1                      | 11,2 | 11,2 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 | 11,1 |
| 16                      | 11,3                      | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 | 11,3 |

Tabela 7 – pH resultante das soluções (100 ml) de silicato de potássio após a adição do ácido fosfórico 500 g L<sup>-1</sup>.

| g L <sup>-1</sup> de Si | Ácido fosfórico requerido, mL |      |      |        |        |        |        |        |
|-------------------------|-------------------------------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         | 0,00                          | 0,05 | 0,20 | 0,35   | 0,50   | 0,65   | 0,80   | 0,95   |
|                         | ----- pH -----                |      |      |        |        |        |        |        |
| 1                       | 10,4                          | 9,2  | 3,3  | 2,4    | 2,2    | 2,1    | 2,1    | 2,0    |
| 2                       | 10,6                          | 10,2 | 7,1  | 4,6    | 2,7    | 2,5    | 2,3    | 2,2    |
| 4                       | 10,9                          | 10,7 | 10,1 | 7,6    | 6,7    | 6,0    | 3,2    | 2,8    |
| 8                       | 11,1                          | 11,0 | 10,7 | 10,3   | 9,3    | 7,7    | 7,1    | 7,1 ** |
| 16                      | 11,3                          | 11,2 | 11,1 | 11,0 * | 10,9 * | 10,8 * | 10,6 * | 10,3 * |

\* Aspecto esbranquiçado

\*\* Estado gelatinoso

A medida que o silicato de potássio vai sendo acidificado, aumenta a tendência de polimerização do Si. Quanto mais ácido na solução, maior a presença de polímeros de Si. Para quantificar o grau de polimerização do Si na solução, foi utilizado um refratômetro, conforme mostra a figura 5. Quanto maior o índice de refração, maior a quantidade de polímeros na solução e menor o aproveitamento do Si pela planta, quando aplicado via foliar. Desta forma, os dados obtidos do índice de refração, de acordo com as doses de Si em  $\text{g kg}^{-1}$ , 1, 2, 4, 8 e 16, foram, 1,0, 1,0, 1,5, 1,8 e 4,0, respectivamente.



Figura 5 - Refratômetro

## 7 – CONCLUSÕES

- A aplicação de Si via foliar no sorgo não resultou em aumento da concentração de Si nas folhas, porém, houve efeito linear e positivo no caso do arroz;
- Concentrações de Si superiores a  $4 \text{ g L}^{-1}$  (solução de 200 L) podem ocasionar fitotoxidez às plantas de sorgo;
- O ácido fosfórico  $500 \text{ g L}^{-1}$  reduziu o pH da solução de silicato de potássio de forma mais eficiente.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D; SAMUELS, L.; GLASS, A. D. M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.906-912, 1992.
- CAMARGO, P. N. e SILVA O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: HERBA, 1990.
- KANNAN, S. Role of foliar fertilization on plant nutrition. In: BALIZAR, V. C.; DUNCAN, R. R. **Crop as enhancers of nutrient use**. New York: Academic Press, 1991. 574p.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5, 2004.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA. H.S.; NOLLA. A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (Boletim técnico, v.2). Uberlândia: UFU, 2004. 50f.
- ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L. Absorção de uréia via foliar pelo algodoeiro em função do pH da solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n.4, p.491-497, 1990.
- ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, 1984. p.419-449.
- SHU, Z. H.; WU, W. Y.; OBERLY, G. H. Boron uptake by peach leaf. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, n.8, p.867-881, 1991.

**CAPÍTULO II: SILICATO DE POTÁSSIO VIA FOLIAR E O CONTROLE DA  
BRUSONE DO ARROZ**

## 1 – RESUMO

BUCK, GUILHERME BOSSI. **Silicato de potássio via foliar e o controle da brusone do arroz**. 2006. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

A adubação foliar vem sendo muito difundida no processo de produção vegetal no Brasil, muitas vezes, ainda que de forma desordenada, pelo fato de existir pouca base científica em torno do assunto. Desta forma, demandou-se um estudo científico interagindo adubação foliar com uso de Si. A partir da fase de pré-testes desenvolvida nesta dissertação, foram definidos os tratamentos a serem pesquisados, cultura, forma de aplicação, espécie do patógeno, avaliação de parâmetros e da patologia. Os tratamentos consistiram em duas curvas de absorção, sendo cada uma com um valor de pH distinto de 10,5 e 5,5, com doses de 0, 1, 2, 4, 8 e 16 g L<sup>-1</sup> de Si e 0, 2, 4 e 8 g L<sup>-1</sup> de Si, respectivamente, e ainda um outro tratamento variando de 1 a 4 vezes o número de aplicações exclusivamente da dose de 4 g L<sup>-1</sup> de Si. Não houve absorção de Si na folha e nem tampouco acúmulo de Si na matéria seca da parte aérea. Conseqüentemente, não houve diferença na massa seca da parte aérea e nem na massa de panícula, comparados ao efeito das diferentes doses em ambos os pH's de solução e também para o parcelamento da aplicação da dose de 4 g L<sup>-1</sup>. Apenas para o controle da incidência da brusone houve redução significativa na medida em que aumentou-se as doses de Si, independente do pH da solução.

Palavras-chave: arroz, *Pyricularia oryzae*, Silício.

---

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Orientador), Antonio Nolla – UFU (Co-orientador) e Lísias Coelho – UFU (Co-orientador).



## 2 - ABSTRACT

BUCK, GUILHERME BOSSI. **Potassium silicate as foliar spray and rice blast incidence control.** 2006. 66p. Dissertation (Master program Agronomy/Soil). Federal University of Uberlandia, Uberlândia.<sup>1</sup>

Foliar fertilization is becoming a widespread process on vegetable production in Brazil, oftentimes disorderly by the little scientific knowledge existing on the subject. Therefore, a study about the foliar fertilization with Si was required. Preliminary tests defined the treatments to be studied, such as crop, application form, pathogen, evaluation of parameters and epidemiology. The treatments consisted of two absorption curves, each one with a pH value 10.5 or 5.5, with doses of 0, 1, 2, 4, 8 and 16 g L<sup>-1</sup> of Si and 0, 2, 4 and 8 g L<sup>-1</sup> of Si for each pH, respectively, and treatments varying from 1 to 4 times the number of applications of the dose of 4 g L<sup>-1</sup> of Si. There was no Si absorption by the leaves or Si accumulation in the dry matter of the aboveground part. Consequently there were no differences in the aboveground dry matter nor in yield, compared to the effect of the different doses in both solution pH's, nor for the number of application times of the dose 4 g L<sup>-1</sup>. Rice blast incidence was significantly reduced as Si doses increased, independently of the solution pH.

Keywords: rice, *Pyricularia oryzae*, Silicon.

---

<sup>1</sup>Guidance Committee: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU (Adviser), Antonio Nolla – UFU (Co-adviser) e Lísias Coelho – UFU (Co-adviser).

### **3 – INTRODUÇÃO**

A adubação foliar é utilizada basicamente para complementar a nutrição da planta, fornecendo nutrientes em pequenas quantidades, no caso de escassez dos mesmos, quando detectados níveis de insuficiência através da análise de tecido vegetal no decorrer do ciclo da cultura, principalmente em se tratando de micronutrientes.

A interação entre nutrição de plantas e incidência de doenças é bastante acentuada conforme alguns nutrientes em específico. No caso do silício, já se sabe que existe mais de uma hipótese que explica o mecanismo de atuação do mesmo em relação ao controle de determinados patógenos, em especial fungos. Uma das hipóteses é de que, mesmo em pequenas quantidades, o Si torna-se capaz de estimular de alguma forma as fitoalexinas, capazes de atuar em torno da infecção do patógeno, agindo como mecanismo de autodefesa da planta.

Gama et al. (2003) observaram a redução da incidência e severidade de antracnose e oídio, aplicando silicato de potássio via foliar em pepino. Segundo Menzies et al. (1992) o silicato de potássio aplicado foliar inibe o desenvolvimento da colônia do fungo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do silicato de potássio aplicado via foliar sobre a incidência da brusone e produção de arroz.

### **4 – HIPÓTESES**

- O silicato de potássio aplicado via foliar aumenta o teor de Si e K nas folhas do arroz;
- A incidência da brusone (*Pyricularia oryzae*) no arroz pode ser reduzida com a aplicação de Si via foliar;
- A eficiência de absorção do Si pelo arroz aplicado via foliar não se altera com a variação do pH da calda e nem tampouco com o aumento do número de aplicações.

### **5 - MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi instalado em casa-de-vegetação (ambiente protegido), na Universidade Federal de Uberlândia. O solo utilizado no experimento foi um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, cuja caracterização química encontra-se na Tabela 8:

Tabela 8 - Caracterização química do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) utilizado no experimento.

| Solo | pH   | Si                             | P   | K  | Al  | Ca  | Mg  | H+Al | SB  | T   | V           | m  |
|------|------|--------------------------------|-----|----|---|-----|-----|------|-----|-----|-------------|----|
|      | Água | .....mg dm <sup>-3</sup> ..... |     |    | .....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ..... |     |     |      |     |     | .....%..... |    |
| RQo  | 4,6  | 1,1                            | 1,3 | 19 | 0,7   | 0,1 | 0,7 | 4,5  | 0,2 | 4,8 | 5           | 74 |

Observações: Si = (cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup>); P, K = (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>); Al, Ca, Mg = (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); SB = soma de bases; T = CTC a pH 7,0; V = saturação por bases; m = saturação por Al.

O motivo da escolha do solo foi por apresentar baixo teor de Si, de modo que a absorção de Si, proveniente do solo pelo arroz, seria mínima, a ponto da planta se tornar pouco capaz de suprir suas necessidades do elemento através do solo. O solo foi corrigido para atingir 50% de saturação por bases, utilizando-se CaCO<sub>3</sub> p.a., na proporção de 1,1 g kg<sup>-1</sup> de solo.

A correção do solo e adição dos fertilizantes foram realizadas em porções de 50 kg de solos. Foi adicionado fósforo através do superfosfato simples (na forma de pó), na proporção de 25 g a cada 50 kg de solo, excedendo ao nível de 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Para o Potássio (K), foi adicionado cloreto de potássio ao solo, na proporção de 50 g a cada 50 kg de solo, atingindo-se valores na ordem de 200 mg dm<sup>-3</sup> de K no solo.

O potássio foi adicionado em doses elevadas, visando eliminar os possíveis efeitos do K, provenientes da adubação foliar (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Com alto teor de K disponível no solo, acredita-se que haveria “consumo de luxo” deste elemento, e assim o K aplicado via foliar não teria nenhuma interferência na nutrição da planta e, conseqüentemente, na eficiência do Si da fonte estudada.

O nitrogênio e enxofre foram adicionados no início do desenvolvimento da cultura, aproximadamente aos 15 DAE (dias após emergência), através do sulfato de amônio, totalizando 150 kg ha<sup>-1</sup> de N e 90 kg de S ha<sup>-1</sup>. O cálcio foi adicionado através do carbonato de cálcio p.a. e o magnésio encontrava-se no solo inicialmente em níveis acima do mínimo exigido pela cultura, que é de 0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg no solo, segundo Ribeiro et al. (1999). Todos os demais nutrientes e corretivos foram adicionados ao solo imediatamente antes da semeadura. Os fertilizantes foram misturados em porções de 50 kg de solo em betoneira e posteriormente transferidos aos vasos. A quantidade de solo utilizada foi de 10 kg por vaso.

A cultivar de arroz utilizada foi a Metica – I, susceptível à *Piricularia oryzae* (Brusone), sendo semeada dia 27 de fevereiro de 2005 e tendo as plântulas emergidas em 5 de março. Foram semeadas 25 sementes por vaso, após a germinação e emergência, foi realizado um desbaste, ficando 15 plantas por vaso. Este número elevado de plantas por vaso se deve em função da inoculação do patógeno, pois com a inoculação, quanto maior o número de plantas, melhor o resultado da inoculação do patógeno. Após a inoculação e a avaliação da incidência da brusone, foi realizado novo desbaste, deixando-se 8 plantas por vaso.

O silicato de potássio é uma solução aquosa, com aspecto de líquido viscoso, translúcido, cuja coloração pode variar entre amarelado e rosado. Solúvel em água em quaisquer proporções, suas características de SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, densidade a 20°C, viscosidade a 20°C e pH, são respectivamente 26%, 12%, 1,38 g cm<sup>-3</sup>, 480 cP e 11,0. É um produto alcalino (pH > 11,0) com propriedades tamponantes. Possuem capacidade defloculante, devido à transferência, para o substrato, de cargas elétricas negativas dos seus ânions (SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup>)<sub>n</sub>.

### **5.1 - Tratamentos**

O experimento foi montado com 14 tratamentos (Tabela 9) e 5 repetições, sendo 13 delas aplicadas na forma líquida via foliar e mais um tratamento adicional com Si aplicado via solo (Wollastonita). Para análise estatística e interpretação dos resultados, os tratamentos foram divididos em 3 grupos (A, B e C).

Tabela 9 - Relação dos tratamentos e respectivas doses de Si, quantidade do produto, pH da solução e número de aplicações utilizadas no experimento.

| Tratamento | Si (g L <sup>-1</sup> ) | K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g<br>200 L <sup>-1</sup> ) | pH da<br>solução | Nº de aplicações |
|------------|-------------------------|---|------------------|------------------|
| 1          | 0                       | 0   | 10,5             | 02               |
| 2          | 1                       | 854,5   | 10,5             | 02               |
| 3          | 2                       | 1.709   | 10,5             | 02               |
| 4          | 4                       | 3.418   | 10,5             | 02               |
| 5          | 8                       | 6.836   | 10,5             | 02               |
| 6          | 16                      | 13.672  | 10,5             | 02               |
| 7          | 2                       | 1.709   | 5,5              | 02               |
| 8          | 4                       | 3.418   | 10,5             | 01               |
| 9          | 4                       | 3.418   | 10,5             | 03               |
| 10         | 4                       | 3.418   | 10,5             | 04               |
| 11         | 4                       | 3.418   | 5,5              | 01               |
| 12         | 4                       | 3.418   | 5,5              | 02               |
| 13         | 8                       | 6.836   | 5,5              | 02               |
|            |                         |   |                  |                  |
| 14         | Wollastonita            | 1.000<br>kg ha <sup>-1</sup>                                | ---              | 01               |

Os tratamentos citados na Tabela 9 foram agrupados para fins de comparações. Ei-las na tabela 10, abaixo:

Tabela 10 - Disposição em grupos de comparação (A, B e C) entre os tratamentos propostos.

| Tratamentos |           |                         |           |      |
|-------------|-----------|-------------------------|-----------|------|
|             |           | Si (g L <sup>-1</sup> ) | Nº aplic. | pH   |
| Grupo A     | 1-        | 0                       | ----      | ---- |
|             | 2-        | 1                       | 2         | 10,5 |
|             | 3-        | 2                       | 2         | 10,5 |
|             | 4-        | 4                       | 2         | 10,5 |
|             | 5-        | 8                       | 2         | 10,5 |
|             | 6-        | 16                      | 2         | 10,5 |
|             |           |                         |           |      |
| Grupo B     | 1-        | 0                       | ----      | ---- |
|             | 7-        | 2                       | 2         | 5,5  |
|             | 11-       | 4                       | 2         | 5,5  |
|             | 13-       | 8                       | 2         | 5,5  |
|             |           |                         |           |      |
| Grupo C     | 1-        | 0                       | ----      | ---- |
|             | 8-        | 4                       | 1         | 10,5 |
|             | 4-        | 4                       | 2         | 10,5 |
|             | 9-        | 4                       | 3         | 10,5 |
|             | 10-       | 4                       | 4         | 10,5 |
| 14-         | Wollast.* | ----                    | ----      |      |

\* Wollastonita, aplicação no solo na dose de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Compreende-se que, em caso de parcelamento, será dividida a dose total pelo número de vezes a se aplicar (nº de aplicações) em partes iguais, totalizando a dose referenciada no tratamento. As épocas de aplicação foram definidas da seguinte forma: 1ª com 25 DAE, 2ª com 45 DAE, 3ª com 65 DAE e a 4ª com 85 DAE. Pode-se notar que o intervalo adotado entre uma aplicação e outra foi de 20 dias, pois, segundo Malavolta (1989), existem nutrientes que levam 30 minutos para serem absorvidos e outros levam até 20 dias. Nos casos em que o número de aplicação foi de apenas um, foi aplicado a dose total na 1ª aplicação, já quando requeria 2 aplicações, a dose era dividida em 2 e aplicadas nos dois primeiros intervalos de aplicações, e assim sucessivamente até a 4ª aplicação.

As aplicações foram realizadas com auxílio de um borrifador, sendo previamente estipulado o volume de aplicação, totalizando 25 mL de solução preparada por vaso, de forma que atingisse o ponto de molhamento máximo na superfície da folha, sem que houvesse escorrimento superficial de calda do produto. Os vasos foram isolados individualmente para que não houvesse contaminação com outros tratamentos, e as aplicações foram realizadas sempre a partir das 16:00 horas.

Aos 60 DAE, foram coletadas 10 folhas de cada vaso. Somente o terço médio das folhas foi aproveitado para compor a amostra, desprezando-se sempre as folhas mais novas e as mais velhas.

A segunda coleta de folhas foi realizada aos 135 DAE, sendo que a planta encontrava-se em estágio de enchimento de grãos. A lavagem das folhas foi realizada passando-as primeiramente pela água de torneira, solução de detergente biodegradável neutro a 0,1%, HCl 0,1 mol L<sup>-1</sup> e água destilada em quantidade suficiente para a retirada total dos resíduos de silicato de potássio. Após a descontaminação superficial das folhas, as mesmas foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada, a 65° C, permanecendo por 73 horas. Em seguida foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira nº 20.

No final do ciclo da cultura, foi avaliada a produção de grãos através do peso das panículas e o peso da parte aérea seca. Por ocasião da colheita dos grãos, foi feito também a colheita da parte aérea do arroz. A parte aérea das plantas, sem a panícula, foi seca em estufa, moída e depois analisada quanto aos teores de Si (KORNDÖRFER et al., 2004).

Avaliou-se o teor de Si na folha, seguindo a metodologia abaixo (KORNDÖRFER et al., 2004). Pesou-se uma alíquota de 0,1000 g do material vegetal moído em tubos de polipropileno de 100 mL, depois adicionou-se 2 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (300 ou 500 g L<sup>-1</sup>) com

posterior agitação (agitador magnético), por alguns segundos, efetuados dentro da capela. Adicionou-se 3 mL de NaOH ( $500 \text{ g L}^{-1}$ ), com posterior agitação, e logo depois os tubos foram conduzidos ao banho-maria por aproximadamente 1 hora. Uma vez estabilizada a liberação de gases, colocou-se as tampas e acondicionou-se os tubos na autoclave por 1 hora, à  $253^\circ \text{ F}$  ( $123^\circ \text{ C}$ ) e 1,5 atm. Após autoclavagem, foram adicionados 45 mL de água destilada e em seguida transferido todo extrato para frascos de plástico com suas devidas identificações, no qual permaneceu em repouso por 24 horas, até que todo os resíduos ficassem depositados no fundo do recipiente. Após o período de repouso, foi extraído 1 mL do sobrenadante do extrato em copo plástico de 50 mL e em seguida adicionou-se 19 mL de água destilada, totalizando 20 mL. Posteriormente, adicionou-se aos copos plásticos das amostras (extratos digeridos) 1 mL de HCl ( $1:1$  ou  $500 \text{ g L}^{-1}$ ) + 2 mL de molibdato de amônio. Decorridos 5 a 10 minutos após a adição do molibdato, adicionou-se 2 mL de ácido oxálico e por fim, depois de 2 minutos, foi realizada a leitura em Espectrofotômetro UV – visível no comprimento de onda de  $410 \text{ nm}$ .

A análise de K nas folhas do arroz foi realizada apenas na primeira amostragem. O método utilizado para análise do K na folha foi a digestão nitro-perclórica (SILVA, 1999).

## **5.2 - Inoculação do patógeno**

Após 25 dias da emergência das plantas, foi inoculado o propágulo da *Pyricularia oryzae* (brusone). O propágulo foi cedido pela EMBRAPA CNPAF. O mesmo foi disposto em água destilada, formando uma suspensão com  $3 \times 10^5$  propágulos do patógeno. Após o preparo do inóculo, procedeu-se à atomização deste diretamente sobre a parte aérea das plantas, com um atomizador com fluxo contínuo, modelo Devilbes nº 15 (Figura 6), à pressão de 6 psi, até que cada vaso atingisse o ponto de molhamento. Porém, antes de formar gotas e atingir o ponto de escorrimento superficial na folha, sendo esta forma de aplicação idêntica para todas os tratamentos (Figura 7).



Figura 6- Compressor com atomizador.



Figura 7- Inoculação do patógeno.



Figura 8- Acondicionamento das plantas.

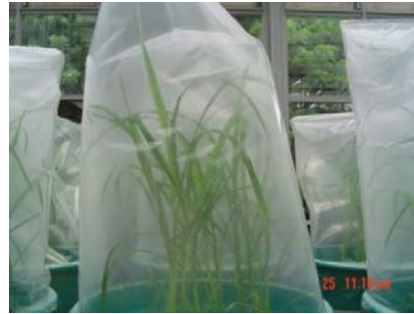


Figura 9- Acondicionamento das plantas.

Logo após a pulverização do inóculo do patógeno, os vasos foram vedados com embalagem de polietileno transparente, fechados (Figuras 8 e 9) com o objetivo de manter a umidade relativa interna elevada pelo período de 24 horas, permitindo, desta forma, a germinação e penetração do patógeno nas plantas.

### 5.3 - Delineamento estatístico

Os tratamentos foram distribuídos em casa-de-vegetação (ambiente protegido), em blocos inteiramente casualizados (DIC), com 5 repetições. Os resultados foram analisados primeiramente pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, onde foram submetidos ao teste todos os tratamentos. Posteriormente, para as doses de silício foram utilizados modelos matemáticos (análise de regressão). Para as médias comparadas entre os tratamentos de diferentes números de aplicações foi utilizado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da concentração de silício nas folhas, massa de panícula, massa da matéria seca e silício acumulado estão apresentados na Tabela 11. Observa-se que na



comparação entre todos os tratamentos, segundo o modelo estatístico proposto, não houve diferença entre os tratamentos que receberam Si via foliar para nenhuma das variáveis. Apenas houve diferença entre o tratamento onde fora fornecido Si via solo (Wollastonita) dos demais tratamentos nas variáveis, teor de Si na folha e Si acumulado.

Isto é explicado pelo fato de a quantidade de Si fornecido via solo, através da Wollastonita, ter sido muito superior à maior dosagem de Si fornecida via foliar, 230 kg ha<sup>-1</sup> e 16 g L<sup>-1</sup> (3,2 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente.

Tabela 11 – Efeito de fontes, doses, número de aplicações e pH da calda sobre os teores de Si nas folhas, massa de panícula, matéria seca da parte aérea e Si acumulado pelo arroz (Análise conjunta dos tratamentos).

| Doses de Si       | Nº aplicações | pH (solução) | Teor Si (Parte aérea) | Massa de panícula | Massa de mat.seca (Parte aérea) | Si acumulado (Parte aérea) |
|-------------------|---------------|--------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------|
| g L <sup>-1</sup> |               |              | g kg <sup>-1</sup>    |                   | g vaso <sup>-1</sup>            |                            |
| 0                 | -----         | -----        | 7,0 b                 | 16,6 a            | 46,05 a                         | 0,32 b                     |
| 1                 | 2             | 10,5         | 7,0 b                 | 15,0 a            | 49,75 a                         | 0,35 b                     |
| 2                 | 2             | 10,5         | 6,0 b                 | 13,5 a            | 59,42 a                         | 0,36 b                     |
| 4                 | 2             | 10,5         | 6,0 b                 | 16,6 a            | 54,65 a                         | 0,33 b                     |
| 8                 | 2             | 10,5         | 7,0 b                 | 15,0 a            | 54,47 a                         | 0,38 b                     |
| 16                | 2             | 10,5         | 8,0 b                 | 15,0 a            | 46,25 a                         | 0,37 b                     |
| 2                 | 2             | 5,5          | 7,0 b                 | 15,0 a            | 50,17 a                         | 0,35 b                     |
| 4                 | 1             | 10,5         | 8,0 b                 | 18,2 a            | 48,42 a                         | 0,39 b                     |
| 4                 | 3             | 10,5         | 7,0 b                 | 15,0 a            | 54,45 a                         | 0,38 b                     |
| 4                 | 4             | 10,5         | 7,0 b                 | 15,0 a            | 50,20 a                         | 0,35 b                     |
| 4                 | 1             | 5,5          | 7,0 b                 | 17,5 a            | 50,35 a                         | 0,35 b                     |
| 4                 | 2             | 5,5          | 6,0 b                 | 15,0 a            | 57,50 a                         | 0,34 b                     |
| 8                 | 2             | 5,5          | 7,0 b                 | 15,0 a            | 50,92 a                         | 0,36 b                     |
| Wollastonita      | -----         | -----        | 15,0 a                | 15,0 a            | 61,95 a                         | 0,93 a                     |
| CV (%)            |               |              | 18,9                  | 20,2              | 14,5                            | 16,7                       |

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Agrupamento de Scott-Knott

\* Aplicação via solo em pré-semeadura na dose de 1.000 kg ha<sup>-1</sup>.

No caso do efeito do Si na indução de fenóis, onde são necessárias pequenas quantidades de Si absorvido pela folha, não foi possível detectar variações em relação ao acúmulo do mesmo em função do método analítico utilizado. Isso deve-se ao fato de que pequenas variações não podem ser detectadas através do atual método estabelecido, podendo notar que variações de 1,0 g kg<sup>-1</sup> não indicam diferença, apenas quando a variação dobra de valor entre tratamentos.

Quando se comparou os teores de K nas folhas em início de florescimento, não houve efeito significativo das doses do silicato de potássio em nenhuma das situações. Até mesmo na testemunha onde não fora aplicado nenhuma dose do produto, os teores de K na folha ficaram acima do limite mínimo necessário para o pleno desenvolvimento da cultura. Os níveis de K encontrados na planta variaram de 23 a 27 g kg<sup>-1</sup>, permanecendo muito próximo dos níveis críticos, que variam entre 25 a 35 g kg<sup>-1</sup>, segundo Malavolta (1981).

Menzies et al. (1992), estudando a relação entre o Si e a incidência de oídio em pepino, provaram não ser o K, presente no silicato de potássio, o responsável pela redução do patógeno e sim o Si.

### 6.1 - Incidência da brusone (*Pyricularia oryzae*)

Com relação à incidência da brusone, os resultados mostraram um significativo decréscimo com o aumento das doses de Si aplicado. A redução na incidência da brusone variou de 51% na testemunha, para 26% na dose de 16 g L<sup>-1</sup> de Si (Figura 10), chegando ao índice de 10% no tratamento com a wollastonita.

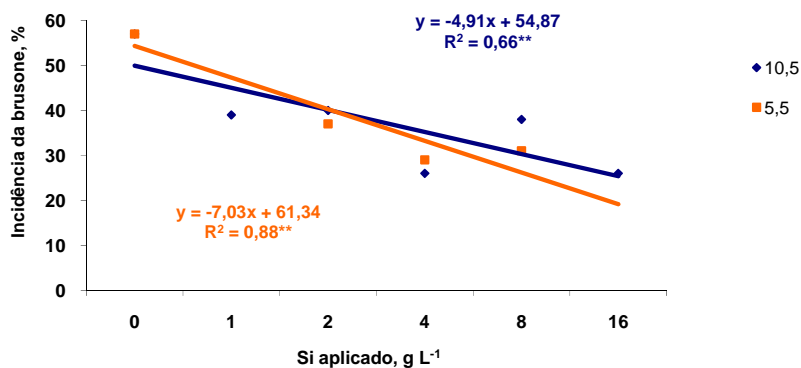


Figura 10 - Efeito das doses de Si aplicadas via foliar (solução pH 5,5 e 10,5) na incidência de brusone do arroz (*Pyricularia oryzae*), avaliada 10 dias após inoculação do patógeno.

O efeito de redução da incidência da brusone ocorreu tanto com a solução de pH 5,5, como em solução de pH 10,5 (Figura 10), ou seja, não houve influência do pH da solução. Resultados semelhantes foram obtidos por Bowen et al. (1992), onde o principal mecanismo de redução da atividade do patógeno, através do uso de Si foliar,

ocorreu pelo impedimento direto no desenvolvimento do patógeno, influenciando na sua forma de propagação.

Em ambos os casos, tanto na solução pH 10,5 quanto em pH 5,5, os melhores resultados relacionados à redução da incidência da brusone foram obtidos nas doses de 4 g L<sup>-1</sup> de Si.

Estudos associando a redução da doença a partir da aplicação de Si foliar, demonstrando efetiva redução da incidência de oídio em pepino, melão e berinjela foram obtidos por Menzies et al. (1992). Segundo os autores, o silicato de potássio aplicado via foliar reduziu o número de colônias do fungo nas folhas submetidas à aplicação do produto. Este estudo comprovou a ação do silicato de potássio impedindo a proliferação da colônia do fungo, mantendo-a estável em quantidade, através do mapeamento por raio-X da deposição do silicato de potássio. Isso indicou que o silicato de potássio pode ter exercido um efeito supressor ao patógeno, atuando externamente à folha.

Resultados observados por Gama et al. (2004), trabalhando com fontes de Si via solo e via foliar, foram semelhantes aos da Figura 9, pois a maior absorção de Si pela folha se deu através do fornecimento do elemento via solo. Porém, a redução da incidência do fungo foi similar às duas formas de fornecimento de Si e ambas diferiram da testemunha, onde não foi fornecido o Si, conseqüentemente, apresentando incidência da doença superior aos tratamentos.

Segundo Rafi et al. (1997), o suprimento de Si confere às plantas uma maior capacidade biológica em resistir à adversidades do meio, tanto bióticas quanto abióticas, principalmente em se tratando da cultura do arroz.

## **6.2 - Teor de Si nas folhas do arroz**

Não foi possível observar aumento na concentração de Si nas folhas, nem mesmo nas maiores doses de Si aplicadas via foliar, independente do pH da solução (Tabela 12).

Tabela 12 – Efeito das doses de Si aplicadas via foliar sobre os teores de Si nas folhas (coletadas aos 60 DAE), Si na parte aérea, peso de matéria seca e peso de panícula (coletadas aos 135 DAE).

| Doses de Si       | Teor de Si (folha) |      | Teor de Si (parte aérea) |      | Peso de matéria seca |      | Peso de panícula |      |
|-------------------|--------------------|------|--------------------------|------|----------------------|------|------------------|------|
|                   | pH                 |      |                          |      |                      |      |                  |      |
|                   | 10,5               | 5,5  | 10,5                     | 5,5  | 10,5                 | 5,5  | 10,5             | 5,5  |
| g L <sup>-1</sup> | g kg <sup>-1</sup> |      |                          |      | g vaso <sup>-1</sup> |      |                  |      |
| 0                 | 11,0               | 11,0 | 7,0                      | 7,0  | 46,1                 | 46,1 | 16,7             | 16,7 |
| 1                 | 12,0               | ---  | 7,0                      | ---  | 49,8                 | ---  | 15,0             | ---  |
| 2                 | 11,0               | 8,0  | 6,0                      | 7,0  | 59,4                 | 50,2 | 13,5             | 15,0 |
| 4                 | 12,0               | 7,0  | 6,0                      | 6,0  | 54,7                 | 57,5 | 15,0             | 15,0 |
| 8                 | 10,0               | 10,0 | 6,0                      | 8,0  | 54,5                 | 50,9 | 15,0             | 15,0 |
| 16                | 8,0                | ---  | 8,0                      | ---  | 46,3                 | ---  | 15,0             | ---  |
|                   | (ns)               | (ns) | (ns)                     | (ns) | (ns)                 | (ns) | (ns)             | (ns) |

ns = Não significativo, de acordo com o teste de regressão.

Não houve aumento dos teores de Si na medida em que se aumentaram as doses do nutriente, da mesma forma ocorrendo para massa de matéria seca e de panícula. Nem mesmo com a alteração do pH da solução, de 10,5 para 5,5, houve diferenças entre as variáveis, pois havia a hipótese da absorção do Si ser facilitada com a redução do pH da solução. Esta hipótese se deve ao fato da absorção de alguns nutrientes pela folha ser máxima entre pH 7,0 a 8,0, como é o caso do boro (B) e também do zinco (Zn) (SHU et al., 1991). Em soluções multinutrientes, podem ocorrer problemas de incompatibilidade, como por exemplo, a uréia (Rosolem et al. 1990), o fósforo, potássio (Rosolem, 1984) e cálcio (Chamel, 1998) são melhores absorvidos em pH bem mais baixo. Sendo assim, determina-se uma faixa de pH próxima do ideal para absorção de nutrientes via foliar em torno de 4,0 a 8,0. Estas observações servem para justificar a necessidade do ajuste de pH da solução, contendo silicato de potássio em diferentes concentrações, com o intuito de potencializar a absorção de Si, através da redução do pH da solução final até pH 5,5, obtida com uso do ácido fosfórico 500 g L<sup>-1</sup>, mantendo a solução entre o pH de 4,0 a 8,0, com base na literatura. Pode-se notar que a concentração de Si na folha, tanto da testemunha, quanto da dose máxima, apresentaram, respectivamente, 11 e 8 g kg<sup>-1</sup> de Si (Tabela 12). Segundo Korndörfer et. al, (2004) valores na ordem de 11,6 a 14,9 g kg<sup>-1</sup> de Si na matéria seca da folha + colmo foram obtidos em arroz de sequeiro, cultivados em vasos, em casa-de-vegetação (ambiente protegido).

A pouca eficiência na absorção de Si pela folha do arroz se deve à formação de polímeros pela solução de silicato de potássio na superfície da cutícula foliar,

dificultando a absorção do Si. Iler (1979), trabalhando com silício em solução, cita que, com o aumento da concentração de Si, pode-se formar polímeros de cadeias longas a partir do ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), formando ácido polisilícico, o qual facilmente se polimeriza em meio ácido.

Menzies et al. (1992) também observaram, logo após aplicação do silicato de potássio, a formação de um resíduo sobre a folha, sugerindo que esta “película” fortaleça a atividade da cutícula como barreira mecânica à penetração do patógeno.

Não se pode afirmar definitivamente que o Si aplicado via foliar não foi absorvido, pelo fato de existirem limitações na metodologia para as análises de Si em plantas (tecido vegetal). O nível de detecção é muito alto, bem como a variabilidade. Isso se deve em parte pela forma de digestão (via úmida). A digestão nem sempre é completa e isso gera uma variabilidade alta para este tipo de análise. Portanto, pequenas diferenças no conteúdo de Si das folhas são difíceis de serem detectadas devido às limitações metodológicas referidas. Em contrapartida, as doses aplicadas via foliar são extremamente baixas (máximo de  $3,2 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si ou  $16 \text{ g L}^{-1}$  de Si), se comparadas às aplicações via solo, isso torna ainda mais difícil conseguir detectar diferenças entre tratamentos ao se utilizar a análise foliar. Este fato, ligado à problemática da metodologia analítica empregada na leitura do teor de Si foliar, já fora evidenciado por Menzies (1992), ao questionar se realmente houve absorção de Si ou não em quantidades expressivas a serem notadas pelas análises a ponto de alterar as concentrações do nutriente na folha, quando se utilizou do Si foliar. Segundo o autor, a questão é que talvez a metodologia empregada para análise de Si não detecte pequenos incrementos, ou seja, não há como diferenciar significativamente um acréscimo de concentração relativamente pequeno em espécies como o arroz, por exemplo, que acumulam mais que 1,0% de Si na sua matéria seca. Haja vista que resultados semelhantes a estes, com pequenas variações no teor de Si na folha, foram encontrados pelo mesmo autor, ou seja, o incremento de Si foliar fora irrisório, porém os tratamentos que receberam Si via folha demonstraram efeito positivo na redução da severidade do patógeno.

Ao analisar massa da matéria seca, pode-se perceber que a média geral do experimento foi de 52,46 g. por vaso, cada vaso continha 8 plantas, portanto, 6,56 g. por planta. Contando que, convencionalmente, em um hectare estima-se que contenha aproximadamente 45 plantas por metro, com espaçamento entre linha de 17 cm, totalizam 2.647.059 plantas por hectare (MARCHEZAN, 2005). Este total de plantas

multiplicado pela massa de uma planta (6,56 g) resulta em 17.364,7 kg de matéria seca total por hectare. Desta forma, 1,0% de Si significaria aproximadamente 174 kg ha<sup>-1</sup> de Si absorvido na parte aérea. Certamente, com a aplicação da dose máxima neste experimento (3,2 kg ha<sup>-1</sup> de Si ou 16 g L<sup>-1</sup>), matematicamente, não se poderiam atingir incrementos maiores que 0,018% de Si acumulado na parte aérea, considerando-se apenas o fornecimento de Si foliar.

### **6.3 - Acúmulo de Si na matéria seca**

Ao final do experimento com arroz, realizou-se uma segunda análise de Si de uma amostra composta do caule e folha. A panícula neste caso não foi incluída.

Pelas mesmas razões acima mencionadas para o caso das folhas, também não houve aumento de Si na parte aérea (Tabela 12). De acordo com a tabela 12, a concentração de Si nas folhas é maior do que a concentração na parte aérea, isto se deve ao efeito de diluição, já que na parte aérea é levado em consideração a planta toda, exceto a panícula. O teor médio de Si no caule certamente é inferior ao teor médio de Si obtido na folha, uma vez que o nutriente é absorvido pela raiz e translocado até as folhas. A partir daí, o silício é acumulado na folha entre a cutícula e a lamela média e, posteriormente, forma-se o ácido polissilícico, a partir do ácido monossilícico, que fora absorvido e translocado (YOSHIDA, 1965).

Ao variar o pH da solução de 10,5 para 5,5, também não se verificou nenhum acréscimo na concentração de Si na parte aérea, isto confirma que a absorção de Si via foliar não ocorreu nem mesmo quando se utilizou solução com pH reduzido (Tabela 12).

Segundo estes resultados, a acidificação da solução não traz nenhum benefício em relação à absorção do Si pela folha, isto significa que o silicato de potássio pode ser utilizado como tal, isto é, sem ajuste de pH.

Outro aspecto que pôde ser avaliado no final do ciclo do arroz foi o efeito do parcelamento, sendo aplicado apenas em solução, sem ajuste de pH (pH 10,5). Os resultados mostraram que não houve diferença para o parcelamento da dose de 4 g L<sup>-1</sup> (Figura 11). A dose de 4 g L<sup>-1</sup> foi escolhida pelo fato de ser apontada, desde a fase de testes preliminares, como sendo a dose máxima antes do produto começar a polimerizar ou formar a película esbranquiçada sobre a folha.

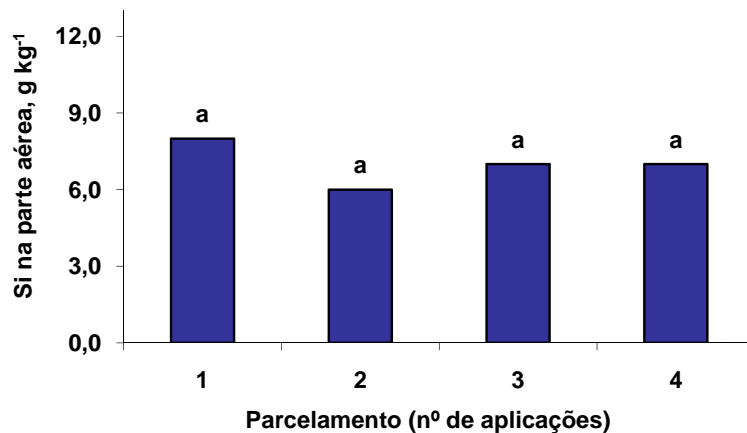


Figura 11 – Efeito do parcelamento da adubação foliar de 4 g L<sup>-1</sup> de Si na cultura do arroz (solução de silicato de potássio à pH 10.5).

#### 6.4 - Massa de matéria seca da parte aérea

O Si aplicado via foliar não afetou a produção de matéria seca (Tabela 12). A matéria seca também não foi afetada pela brusone porque o período de incidência foi curto e os danos à planta minimizados, em função do desenvolvimento do patógeno que se restringiu apenas à fase de avaliação da doença.

A mesma tendência foi notada quando se utilizou da solução (calda de aplicação) a pH ajustado para 5,5 (Tabela 12).

A ausência de diferença entre os tratamentos, no que diz respeito tanto ao peso de panícula, quanto ao peso da matéria seca da parte aérea, pode ser explicada pela não absorção de Si pelas plantas. Porém, em função dos tratamentos, houve redução da incidência da brusone, que, teoricamente, deveria refletir positivamente no aumento de área foliar. O patógeno (*Pyricularia oryzae*) foi avaliado segundo o método de avaliação da EMBRAPA, realizado em exatos dez dias após a inoculação do patógeno. Este tempo de dez dias é considerado o suficiente para que o patógeno se prolifere e encontre condições ideais para sua atuação como agente patogênico. Além dos dez dias, para que o patógeno continue o seu ciclo, é necessário que haja condições ideais para sua proliferação e sobrevivência, o que não aconteceu, onde a temperatura se manteve alta e a umidade baixa, prejudicando o desenvolvimento do patógeno (Fungo).

Apesar dos resultados indicarem que não houve diferença na produção de matéria seca da parte aérea do arroz, para o parcelamento da aplicação do Si (Figura

12), sugere-se que o mesmo seja feito em ao menos duas aplicações visando minimizar o risco de ocasionar fitotoxidez.

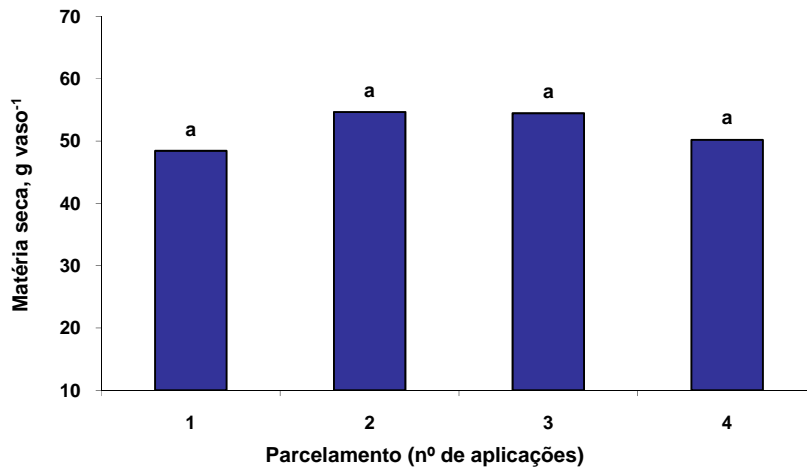


Figura 12 – Efeito do parcelamento da aplicação de Si via folha ( $4 \text{ g L}^{-1}$  - solução pH 10.5) sobre a produção de matéria seca da parte aérea do arroz.

### 6.5 - Massa de panícula

O arroz foi conduzido em ambiente controlado (casa-de-vegetação), com intensidade luminosa reduzida e temperatura elevada. Estas condições podem provocar o estiolamento e também uma variação acentuada na maturidade dos grãos. O peso de panícula não diferiu entre os tratamentos (Tabela 12).

Onde o silicato de potássio foi aplicado utilizando-se a solução a pH 5,5, também não houve diferença significativa para as doses de Si aplicadas (Tabela 12).

O número de aplicações também não interferiu no peso das panículas, isto é, mesmo parcelando a dose de  $4 \text{ g L}^{-1}$  em até 4 vezes, a produção de panículas não foi diferente da aplicação única (Figura 13). Com base nos resultados, pode-se concluir que o parcelamento é desnecessário.



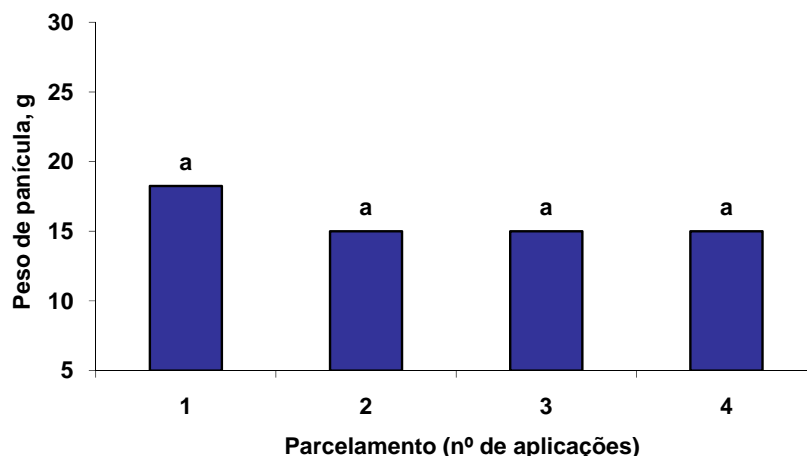


Figura 13 – Efeito do silicato de potássio aplicado na dose de 4 g L<sup>-1</sup> de Si em solução pH 10.5 sobre o peso de panícula do arroz.

A Tabela 13 mostra os valores de peso seco da parte aérea, peso de panícula e o peso total da parte aérea, para as doses de Si, onde pode ser observado que não há diferença entre os tratamentos, mesmo entre as diferentes condições de pH da solução.

Tabela 13 - Efeito de doses de Si, aplicadas via foliar, em 2 aplicações, sobre a produção de matéria seca do arroz e peso de panícula, coletados ao final do ciclo.

| Doses de Si        | Massa seca (parte aérea) |      | Massa da panícula |      | Massa total (parte aérea) |      |
|--------------------|--------------------------|------|-------------------|------|---------------------------|------|
|                    |                          |      | pH                |      |                           |      |
|                    | 10,5                     | 5,5  | 10,5              | 5,5  | 10,5                      | 5,5  |
| g ha <sup>-1</sup> | g vaso <sup>-1</sup>     |      |                   |      |                           |      |
| 0                  | 46                       | 46   | 17                | 17   | 63                        | 63   |
| 1                  | 50                       | ---  | 15                | ---  | 65                        | ---  |
| 2                  | 59                       | 50   | 14                | 15   | 73                        | 65   |
| 4                  | 55                       | 50   | 17                | 18   | 72                        | 68   |
| 8                  | 54                       | 51   | 15                | 15   | 69                        | 66   |
| 16                 | 46                       | ---  | 15                | ---  | 61                        | ---  |
|                    | (ns)                     | (ns) | (ns)              | (ns) | (ns)                      | (ns) |

(ns) = Não significativo, de acordo com o teste de regressão.

Observa-se, pela Tabela 14, que também não há diferenças significativas entre os tratamentos, porém, há uma alteração no modelo estatístico, por se tratar de um teste de médias, onde as mesmas apresentaram-se indiferentes entre os tratamentos propostos, segundo o grupo de comparação.

Tabela 14 – Efeito do nº de aplicações foliares de uma solução de  $K_2SiO_3$ , a pH 10,5, na dose de  $4 \text{ g L}^{-1}$  de Si, sobre a produção de matéria seca da parte aérea e peso de panícula do arroz, coletadas ao final do ciclo.

| Nº de aplicações foliares | Massa de matéria seca (parte aérea) | Massa de panícula | Massa total (parte aérea) |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|
|                           |                                     |                   |                           |
|                           | 46 a                                | 17 a              | 63                        |
| 1                         | 48 a                                | 18 a              | 66                        |
| 2                         | 55 a                                | 17 a              | 72                        |
| 3                         | 54 a                                | 15 a              | 69                        |
| 4                         | 50 a                                | 15 a              | 65                        |
| CV (%)                    | 18,4                                | 14,2              |                           |

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Não houve diferença entre os tratamentos para as variáveis relacionadas nas Tabelas 13 e 14, com o uso do Si aplicado via foliar. Segundo Epstein (1995) e Rafi et al. (1997), o Si é absorvido pela planta em maiores quantidades através da raiz. Em média, a cultura do arroz necessita de 500 a 1.000 kg de  $SiO_2$  por hectare para produzir 5 toneladas de grãos.

## 7 – CONCLUSÕES

- Não houve efeito da aplicação de silício via foliar na acumulação desse elemento na planta, pelo método analítico utilizado e nem nos componentes da produção.
- Ambas as condições de pH não alteraram a absorção de Si via foliar pelo arroz.
- A aplicação de silicato de potássio via foliar pode controlar a incidência da brusone do arroz.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWEN, P.; MENZIES, J.; EHRET, D.; SAMUELS, L.; GLASS, A. D. M. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.906-912, 1992.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions, and problems. **Photosynthesis Research**, Lawrence, v.46, p.37-39, 1995.

GAMA, A. J. M.; KORNDÖRFER, G. H.; JULIATTI, F. C.; NOLLA, A.; BUCK, G. B.; ARAÚJO, L. S. Controle de doenças fúngicas do algodão com adubação de silício via solo e foliar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2004, Lages, **Anais...** Lages: [s.n.], 2004. 1CD-ROM.

GAMA, A. J. M. **Controle de doenças fúngicas na cultura do pepino com adubação de silício via foliar**. 63f. 2003. Monografia. (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

ILER, R. K. **The chemistry of sílica**. New York: Wiley Interscience, 1979.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.5. 2004.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. (Boletim técnico, v.2). Uberlândia: UFU, 2004. 50f.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 5. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3 .ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596p.

MARCHEZAN, E.; MARTIN, T. N.; SANTOS, F. M.; CAMARGO, E. R. Análise de coeficiente de trilha para os componentes de produção em arroz. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, 2005.

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. **American Society For Horticultural Science**, Alexandria, v.117, n.6, p.902-905, 1992.

RAFI, M.M.; EPSTEIN, E.; FALK, R.H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, Rockville, v.151, p.497-501, 1997.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p.359.

ROSOLEM, C. A.; BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O.; VICTÓRIA, R. L. Absorção de uréia via foliar pelo algodoeiro em função do pH da solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n.4, p.491-497, 1990.

ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: Agricultura Brasileira, EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, 1984 Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/ANDA/POTAFÓS, 1984. p.419-449.

SHU, Z. H.; WU, W. Y.; OBERLY, G. H. Boron uptake by peach leaf. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.14, n.8, p.867-881, 1991.

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bull. Natl. Inst. Agric. Sci.**, Kobe, v.15, p.1-58 [J, E]. 1965.