

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES CONTENDO SILÍCIO AVALIADO
ATRAVÉS DE MÉTODO BIOLÓGICO**

**Uberlândia – MG
Julho – 2008**

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES CONTENDO SILÍCIO AVALIADO
ATRAVÉS DE MÉTODO BIOLÓGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer

**Uberlândia – MG
Julho – 2008**

DOUGLAS DA SILVA SANTOS

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES CONTENDO SILÍCIO AVALIADO
ATRAVÉS DE MÉTODO BIOLÓGICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 14 de junho de 2008

M.sc Lucélia Alves Ramos
Membro da Banca

M.sc Dalcimar Regina B. Wangen
Membro da Banca

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, Por todas as dádivas por min alcançada e por ter conduzido minha vida até onde estou. Aos meus Pais e irmãos, que não mediram esforços para que minhas conquistas fossem possíveis.

Aos amigos da faculdade; Aila Rios, Laura Camargos, Thiago Rocha , Anne Kely, Aender César, Thales Cassemiro e Israel Naves. Sempre dispostos a ajudar e encontrar soluções para nossos problemas, onde muitas vezes nos tornamos a família um do outro.

Aos integrantes do grupo de pesquisa Silício na Agricultura, onde fiz grandes amizades, em especial à laboratorista Carla Cristina Costa e a secretária Valéria Moreira Custódio Santos. A Juliana Kahlau que me convidou a participar do grupo, e os companheiros de batalha Ana Paula dos Santos, Valter Antônio da Silva, Robson Thiago Xavier, Ralph Barbosa e os demais estagiários do LAFER. Aos alunos de Mestrado e Doutorado com quem pude aprender muito.

Aos Professores do Núcleo de Solos e demais do instituto. Ao Dr. Lísias Coelho pela disposição em ajudar.

Aos membros da Banca Examinadora Dalcimar Regina Batista Wangen, e Lucélia Alves Ramos.

Ao meu orientador Gaspar Henrique Korndörfer, Pela confiança, orientação e aprendizado adquirido nessa importante fase da minha vida.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 6 |
| 2.1 Importância do silício para a cultura do arroz..... | 7 |
| 2.2 Efeito dos silicatos como corretivos de acidez..... | 9 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 10 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 14 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 19 |
| REFERÊNCIAS..... | 20 |

1 INTRODUÇÃO

Muitos estudos têm comprovado os efeitos benéficos do silício (Si) para diversas culturas, principalmente aquelas que apresentam maior capacidade de resposta à aplicação desse elemento, tais como o arroz, a cana, o trigo, o sorgo e as gramíneas em geral.

Solos tropicais e subtropicais, geralmente mais intemperizados e lixiviados, sob cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de si trocável, devido à dessilicificação (perda de si). Estes solos normalmente apresentam baixo pH, alto teor de alumínio, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de fósforo, além de uma atividade microbiológica reduzida.

Os benefícios associados ao emprego de silicatos nos solos estão relacionados, não apenas ao fornecimento de Si, mas também de Ca, Mg e micronutrientes efeito dos mesmos como corretivos de acidez, assim os mesmo constiuem-se a principal fonte de Si para a agricultura.

As características consideradas ideais em uma fonte de Si para fins agrícolas são: alta concentração de Si – solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas, boa relação e quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), baixa concentração de metais pesados e baixo custo.

Poucas são as informações com relação às melhores fontes de si para uso na agricultura, sendo que alguns produtos já vêm sendo comercializados como fonte desse elemento, dentre os quais destacam-se : os agregados siderúrgicos, utilizados como fornecedores de Si e correção de solos, já que possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; subprodutos da produção de fósforo elementar; cimento; silicatos de magnésio (Serpentinitos); silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de CaSiO_3 e alto grau de pureza utilizado como padrão para experimentos com si (RAMOS, 2005).

Dessa forma objetivou-se avaliar a eficiência agronômica, de duas fontes de Si (silicato de cálcio e magnésio, aplicado via solo, e incorporados), quantificar a capacidade das plantas em absorver e acumular nutrientes provenientes da aplicação dos produtos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do silício para a cultura do arroz

O silício (Si) foi obtido pela primeira vez por Davy em 1809. Os primeiros estudos com êxito, em relação ao Si como fertilizante, ocorreram em 1843, sendo estes desenvolvidos por Lawer na Estação Experimental de Rothamsted, cujos resultados levaram mais de 130 anos para fornecer informações consistentes dos efeitos do Si na produtividade e resistência das plantas a doenças. No século XX, experimentos sobre os efeitos do Si foram realizados para muitas culturas, como arroz, milho, cevada, girassol e beterraba. No entanto, os mecanismos fisiológicos desse elemento, ainda hoje, não são bem conhecidos. Muitos estudos foram realizados em diferentes universidades e estações experimentais, principalmente no Japão, onde foram obtidos resultados utilizados como base para a produção de fertilizantes silicatados. Isto alentou a continuação dos estudos dos efeitos do Si no arroz e outras culturas (RAMOS, 2005).

O Si, depois do O_2 , é o elemento mais abundante da crosta terrestre. Mesmo não sendo considerado nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, sua absorção pode trazer inúmeros benefícios, principalmente para culturas que acumulam, como o arroz, por exemplo. (MENGEL; KIRKBY, 1987).

Vários autores demonstraram o efeito benéfico do si para a cultura do arroz, aumentando o rendimento desta cultura, por diminuir os efeitos tóxicos do Fe e Mn, e ainda disponibilizar P devido a liberação do mesmo a partir dos fosfatos de Fe (JONES; HANDRECK, 1967; MA; TAKAHASHI, 1990a, 1990b, 1991). O Si também está relacionado com a reação do arroz a várias e importantes doenças, tais como a brusone, causada por *Pyricularia grisea*.

A queda de produtividade do arroz em várias regiões do mundo está relacionada com vários fatores, dentre eles a baixa disponibilidade de nutrientes ou de elementos benéficos, como o Si. No caso do Si, alguns fatores podem estar envolvidos na sua baixa disponibilidade para as plantas nos solos tais como: (a) muitos solos de áreas produtoras de arroz de regiões tropicais e subtropicais apresentam perda de Si; (b) a cinética de dissolução do Si no solo é muito baixa, e (c) o Si da solução do solo é adsorvido por sesquióxidos presentes em muitos solos tropicais (SAVANT et al., 1997).

As plantas absorvem o Si da solução do solo na forma de ácido monossilícico $Si(OH)_4$ (TISDALE et al., 1993). O óxido de silício (SiO_2) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Entretanto, em razão do

avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado basicamente na forma de quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e outras formas não-disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Ma et al. (2001) citam que as plantas consomem diferentes quantidades de si, de acordo com a sua espécie, e que o conteúdo desse nutriente nas mesmas varia de 1 a 10 % em peso seco, sendo essa variação resultado da espécie e do ambiente onde essas plantas crescem.

De acordo com Balastra et al. (1989) o si é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. A forma de deposição de si é como sílica amorfa e hidratada ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Uma vez depositado, o si torna-se imóvel e não mais se redistribui pelas plantas. Snyder et al. (1986) sugerem que as plantas de arroz deveriam conter pelo menos 3% de Si na parte aérea para garantir ótimo desenvolvimento.

O Si é essencial para a alta produtividade do arroz. Mas o mecanismo molecular responsável pela sua absorção ainda é desconhecido. (Ma et al., 2006) Em seu trabalho estes autores descrevem o gene 1(*lsi1*) que controla a acumulação de Si em arroz, uma planta acumuladora desse elemento. Este gene está localizado sobre a membrana plasmática. A supressão desse gene resultou em redução da absorção de Si. Além disso na expressão do *Lsi1*, mostrou atividade de transporte de Si. A identificação de um transportador de Si fornece tanto uma visão sobre o sistema de captação de silício nas plantas, e uma nova estratégia para a produção de culturas de elevada resistência e salienta a modificação genética da raiz da capacidade de absorção de Si (MA et al., 2006).

A adubação silicatada promove melhoria na arquitetura das plantas e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), pois leva a uma menor abertura do ângulo foliar, o que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades de plantas e elevadas doses de N aplicados (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989). Ocorre também, o aumento da resistência das plantas à incidência de doenças fúngicas uma vez que o Si depositado na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da cutícula, mais precisamente nas paredes celulares mais externas (AGARIE et al., 1998), conferindo as mesmas resistência mecânica à penetração das hifas dos fungos (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Dentre as múltiplas funções do silício em benefício às plantas, esta sua atuação na solução do solo, complexando o alumínio a Al-Si, reduzindo, assim, a toxidez desse elemento para as mesmas. Nas raízes, o si se polimeriza em sílica, a qual age reduzindo a captação de manganês pelas plantas, aliviando, dessa maneira, estresses causados por excesso desse

elemento, melhorando assim a disponibilidade de fósforo no interior dos tecidos vegetais, aliviando, também, a deficiência por esse nutriente. No caule, a deposição de sílica aumenta a resistência física do mesmo e previne o acamamento (MA; TAKAHASHI, 2002).

Alguns autores acreditam que a aplicação de Si na cultura do arroz não altere a produção de massa seca da parte aérea da mesma. (TANAKA; PARK, 1966; LIANG et al., 1994; CARVALHO, 2000); Porém, quanto à produtividade de grãos os resultados são divergentes, ou seja, há relatos de incremento (DEREN et al., 1994; LIANG et al., 1994; BARBOSA FILHO et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999; FARIA, 2000) bem como de ausência de resposta (CARVALHO, 2000). Contudo, a ausência de resposta à aplicação de Si, verificada por alguns autores, em solos considerados com teores baixos do elemento, pode estar relacionada, dentre várias causas, com a carência de informações acerca de cultivares quanto à exigência e à capacidade de extração de Si. Essa hipótese é ressaltada por Winslon (1992) e Barbosa Filho et al. (1998) os quais relataram que há diferença genotípica entre as espécies quanto à capacidade de absorver Si. Assim, a elevação nos teores desse elemento no solo para valores considerados adequados passa a ser importante, uma vez que não se conhece a exigência das cultivares de arroz em relação ao Si, há também o fato de os rizicultores utilizarem em suas áreas, em média, três materiais genéticos que sendo pelo menos um, trocado a cada duas ou três safras.

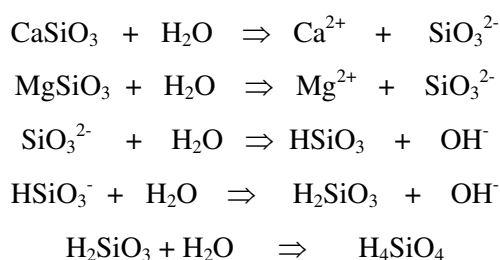
Berni e Prabhu (2003), estudando a eficiência de fontes de Si, na redução da severidade de brusone nas folhas da cultivar de arroz Metica-I plantado em área de várzea, constataram que houve diminuição doença estudada com o aumento das doses de Si.

Novas teorias sobre indução de resistência tem levado alguns pesquisadores a estudar o efeito de Si em plantas não acumuladoras como as dicotiledôneas. Nessas plantas, o Si pode indutor de mecanismos de defesa da própria planta pela ativação de vários mecanismos de os quais incluem síntese de compostos fenólicos, lignina, suberina e calose na parede celular das mesmas (POZZA et al., 2004).

2.2 Efeito dos silicatos como corretivos de acidez do solo e fornecedores de silício para as plantas.

São considerados corretivos da acidez dos solos os materiais que contêm compostos de cálcio e ou de magnésio, de caráter alcalino e disponíveis economicamente em diversos materiais (ALCARDE, 1983). Resíduos siderúrgicos, como subprodutos da fabricação do ferro (COELHO, 1998), também podem ser usados na correção da acidez de solos, constituindo-se em uma alternativa para o aproveitamento de parte desses subprodutos acumulados pelas indústrias. Quando aplicados aos solos podem liberar Ca e ou Mg e ânions em solução (SiO_3^{2-}) (NOLLA, 2004).

Sabe-se que os carbonatos são os corretivos de solo mais usados, porém outros produtos tais como os silicatos, que além de possuírem os mesmos efeitos dos corretivos calcários, são também fornecedores de Si. Esses materiais são constituídos de CaSiO_3 e MgSiO_3 e, assim como nos calcários, sua reatividade varia segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e tempo de contato com o solo. O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), o qual se dissocia menos que os H^+ adsorvidos ao complexo de troca e, por isso, o pH do solo se eleva, conforme a equação descrita por Alcarde e Rodella (2003):



Queiroz (2003) ao realizar estudos com diversos agregados siderúrgicos, em quatro solos do cerrado, observou que o poder de correção dos silicatos de cálcio e magnésio é semelhante ao dos carbonatos de cálcio e magnésio. Nolla (2004), por sua vez afirma que o poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, as quais apresentam maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade.

O aproveitamento agrícola de resíduos industriais como as escórias de siderurgia é pouco comum no Brasil. Apesar da grande quantidade disponível, aproximadamente três milhões de toneladas anualmente. Em várias partes do mundo, porém, o uso de escórias o fornecimento de Si para as plantas é estudado e empregado (PRADO; FERNANDES, 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O produto utilizado, Fertilisício Máster, neste experimento é formado por compostos de Si na forma de SiO₂, Ca na forma de Ca(OH)₂ e CaSO₄.xH₂O e Mg na forma de Mg(OH)₂. Os sólidos se apresentam na forma de grãos de reduzida granulometria, variando da forma pastosa a sólida, dependendo de sua umidade e granulometria. A cor predominante é cinza. O produto Fertilisício Máster “Aditivado” recebe posteriormente quantidades extras de Cal enriquecendo o material com Ca e Mg.

O produto é obtido da seguinte forma: O Si oriundo da areia é fundido em presença do NaOH na temperatura de aproximadamente 1.200°C até a formação do silicato de sódio (processo executado na fábrica da INEOS em São Paulo). O silicato de sódio então é reagido com o ácido sulfúrico para produção da sílica gel - SiO₂ (processo executado na fábrica de Rio Claro). Este último processo gera uma água de lavagem ácida com teores, que é neutralizada com cal [Ca(OH)₂]. Os sólidos gerados neste processo de neutralização é constituído de CaSO₄.xH₂O mais sílica (SiO₂) o qual passa por um processo de filtragem para remoção da parte líquida e finalmente

O experimento foi instalado em uma casa-de-vegetação do Instituto de ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia , em Uberlândia –MG. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de um vaso plástico contendo 8,0 Kg de terra e oito plantas de arroz. A terra empregada foi retirada de um Latossolo Vermelho Distrófico típico. Alguns dos atributos químicos deste solo estão expostos na Tabela 1 e os texturais na Tabela 2. As doses de silício aplicadas em cada tratamento são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 1. Caracterização química da amostra de terra do Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVd).

| pH | P me ⁻¹ | Si | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SB | t | T | V | m | M.O. |
|------|----------------------------|-------|------------------|------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------------|
| | ---mg dm ⁻³ --- | ----- | ----- | ----- | cmol _c dm ⁻³ | ----- | ----- | ----- | ---- % ----- | ----- | g kg ⁻¹ |
| 4,40 | 2,00 | 6,60 | 0,70 | 0,20 | 0,00 | 0,26 | 0,96 | 7,30 | 7,00 | 73,00 | 40,00 |

Pme⁻¹ e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Si - Extrator CaCl₂ (Korndorfer, 2004).

Tabela 2. Caracterização Textural da amostra de terra do Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVd).

| Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|---------------------------------|------------|-------|--------|
| ----- g. kg ⁻¹ ----- | | | |
| 90 | 43 | 33 | 834 |

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997)

Tabela 3 Doses de silício aplicados em cada tratamento.

| Tratamento | Dose de Si kg/ha⁻¹ | Si total em cada produto % | Dose do produto kg/ha⁻¹ | Dose do produto g/ 8 kg de solo |
|------------------------------|--|---|---|--|
| Testemunha | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Wollastonita | 200 | 21 | 952,38 | 3,81 |
| Wollastonita | 400 | 21 | 1904,76 | 7,62 |
| Wollastonita | 600 | 21 | 2857,14 | 11,43 |
| Wollastonita | 800 | 21 | 3809,52 | 15,24 |
| Fertilisício Máster | 200 | 17,8 | 1119,52 | 4,48 |
| Fertilisício Máster | 400 | 17,8 | 2239,64 | 8,96 |
| Fertilisício M. Aditivado | 200 | 15,8 | 1265,82 | 5,06 |
| Fertilisício M. Aditivado | 400 | 15,8 | 2531,62 | 10,13 |

O ensaio foi composto por doses crescentes de wollastonita, a qual é considerada fonte-padrão em estudos com Si e que apresenta alto grau de pureza, rico em CaSiO₃, nas seguintes doses: 0, 200, 400, 600 e 800 Kg ha⁻¹ de si e Para avaliação da reatividade das fontes de Si foram utilizadas dois produtos fornecidos pela empresa Íneos Silica, as quais foram secas e passando por uma peneira de 0,3 mm (ABNT n° 50), nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. As doses dos materiais foram definidas em função da capacidade de fornecimento de Si pelas fontes, sendo caracterizadas quanto aos teores de silício total e solúvel conforme Kordörfer et al. (2004) e CaO e MgO de acordo com Embrapa (1999), conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4. Caracterização das fontes de Si empregadas no experimento.

| Fontes | Tipo de Material | Si TOTAL* % | Si Solúvel** % | CaO % | MgO % |
|-------------------------------|------------------|----------------|-------------------|----------|----------|
| Wollostonita | Pó | 21,00 | 4,60 | 42,90 | 1,90 |
| Fertisilício Máster | Pó | 17,80 | 2,60 | 3,90 | 6,05 |
| Fertisilício Máster Aditivado | Pó | 15,80 | 3,60 | 24,53 | 13,46 |

Silício total em ácido fluorídrico concentrado ** Silício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NO}_3\text{NH}_4$).

Os nutrientes associados às fontes foram integralmente balanceados de tal forma que as parcelas receberam quantidades iguais de cálcio e magnésio, além dos macronutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P_2O_5) aplicados na dose de 200 mg kg^{-1} de solo (Sulfato de Amônio e Superfosfato Simples respectivamente) e potássio (K_2O) na dose de 300 mg kg^{-1} de solo (Cloreto de Potássio - KCl). Os micronutrientes foram aplicados na dose de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ de solo usando como fonte o produto FTE - BR12 contendo: 9% Zn; 1,8% B; 2% Mn; 0,8% Cu; 0,1% Mo e 3% Fe.

A TFSA empregada nos vasos foi umedecida com água destilada até o preenchimento que cerca de 70 % do volume total de poros afim de se promover a reatividade fontes de Si aplicadas. A quantidade de água aplicada ao solo de cada vaso, foi de 1600 ml. O substrato foi submetido ao processo de incubação por 20 dias. Em seguida semeou-se o arroz. Empregou-se a cultivar Fanny. Largamente utilizada como padrão de suscetibilidade à brusone, caracterizada por apresentar baixo, ciclo curto, grãos curtos, baixo vigor de planta, folhas pilosas e baixa produtividade. Depois de desenvolvida a terceira folha de cada planta, promoveu-se a inundação do arroz, com o emprego de uma lamina de água de aproximadamente 4 cm, seguido do desbaste das plantas, deixando-se 6 plantas por vaso. Aos 60 dias após a emergência das plantas foram coletadas folhas de cada parcela para avaliação dos teores de Si.

Quando da colheita separam-se as plantas de arroz da suas respectivas panículas. Em seguida as plantas foram secas em estufa à 65° C , para obtenção da massa seca de parte aérea. os grãos foram retirados de cada panícula e pesados. A biomassa foi avaliada quanto à produção de matéria seca da parte aérea e produção de grãos/oito plantas de arroz

As folhas, depois de secas, foram moídas à 20 mesh. A análise dos teores de Si na parte aérea foi determinada segundo método descrito por Korndörfer, et al. (2004). O Si acumulado foi quantificado através da produção de massa seca e quantificado pela concentração foliar de Si. Coletou-se amostra de terra de cada vaso para análise do teor de Si solúvel conforme metodologia descrita Korndörfer et al. (2004) e pH em CaCl_2 , Ca^{2+} e Mg^{2+} de acordo com Embrapa (1999).

Os dados obtidos das plantas e do solo foram submetidos a análise estatística. Quando do teste F significativo, as médias foram comparadas pelo teste a 5% significância. Para tanto, empregou-se o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000).

Para verificar o comportamento da wollastonita, os dados obtidos do solo e das plantas foram submetidos à análise de regressão, com o auxílio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2000).

O Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.) das fontes foi calculado levando-se em consideração os teores de massa de grãos no arroz, utilizando a seguinte fórmula:

$$(\text{I.E.A. } \%) = \frac{\text{Massa de grão da fonte} - \text{Massa de grão da testemunha}}{\text{Massa de grão do padrão} - \text{Massa de grão testemunha}} \times 100$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis massa seca da parte aérea e massa de grãos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). Vários trabalhos demonstram a wollastonita como fonte padrão de Si para testes comparativos com outras fontes e que para a cultura do arroz aumentos significativos de produção são proporcionados quando se utiliza fontes contendo Si (KORNDORFER et al., 1999), sendo esse nutriente considerado essencial para a mesma segundo critérios de essencialidade propostos por Epstein e Bloom (2006).

Estes resultados concordam com Pereira et al. (2003), os quais não observaram diferença significativa entre os tratamentos onde foi aplicada 125 Kg ha⁻¹ de Si na forma de silicato de cálcio, na produção de matéria seca de plantas de arroz inundado.

Com relação à produção de grãos, os resultados obtidos concordam com os encontrados por Faria (2000), o qual ao estudar o efeito da aplicação de doses crescente de silicato de cálcio em arroz de sequeiro, observou que a produção de grãos aumentou à medida que aumentava a dose de Si. Korndörfer et al. (1999), Deren et al. (1994) e Liang et al. (1994). Santos et al. (2003) e Santos (2007), também observaram o aumento de produção de grãos quando plantas de arroz inundado foram adubadas com fontes contendo Si, tais resultados reforçam ainda a importância de utilizar adubos silicatados na cultura do arroz.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de Si nas Folhas (aos 60 dias), Si na parte aérea das plantas de arroz e Si acumulado (Tabela 5). A wollastonita foi a fonte que proporcionou os maiores valores para os teores de Si nos três casos, embora esta não tenha difereido do tratamento Fertilisício Aditivado para os teores de Si na folha (aos 60 dias) e Si acumulado. Os tratamentos Fertilisício Máster e Fertilisício Aditivado não diferiram entre si em relação ao teor de Si nas folhas (aos 60 dias) e Si acumulado. Discordam com os relatos de Tanaka e Park (1966), Liang et al. (1994) e Carvalho (2000), que não encontraram diferença estatística trabalhando com escórias. Braga (2004) observou que, de modo geral o arroz é uma planta capaz de absorver significativa quantidade de Si. Conforme esse autor, há uma relação linear e crescente do teor de Si observado na parte aérea da plantas de arroz inundado quando se aplicam doses de uma fonte contendo Si. Ressaltando ainda a observação feita por Ma et al. (2001) os quais afirmam que a absorção de Si pelas plantas de arroz e o acúmulo do mesmo na parte aérea são importantes, pois sua deposição na cutícula poderá interferir na arquitetura, tornando as plantas mais eretas, aumentando a eficiência fotossintética das mesmas.

Tabela 5. Efeito de diferentes tratamentos sobre crescimento, produção e absorção e acúmulo de Si pelo arroz.

| Fontes | Massa de grãos | Massa seca parte aérea | Si Folha (60 dias) | Si Parte aérea | Si acumulado |
|------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------|
| | ---- g vaso ⁻¹ ---- | | ----- %----- | | --- g vaso ⁻¹ -- |
| Wollastonita | 47,32 a | 37,00 a | 2,48 a | 2,81 a | 0,99 a |
| Fertilísício Master | 46,62 a | 35,82 a | 1,71 b | 2,07 b | 0,73 b |
| Fertilísício Aditivado | 45,65 a | 34,92 a | 2,14 ab | 2,32 b | 0,61 b |
| C.V. % | 8,78 | 7,59 | 17,39 | 5,44 | 12,28 |

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey 5% de significância.

As fontes de Si Fertilísício Máster e Fertilísício Aditivado apresentaram bons índices de eficiência agrônômica quando comparadas com a fonte padrão Wollastonita (Tabela 7). O melhor resultado verificado para o Fertilísício Máster seguido do Fertilísício Aditivado.

Tabela 6. Índice de Eficiência Agrônômica das fontes de Si Fertilísício Máster e Fertilísício Aditivado em relação à Wollastonita.

| Fonte | Wollastonita | Fertilísício Máster | Fertilísício Aditivado |
|---------|--------------|---------------------|------------------------|
| IEA (%) | 100 | 90 | 76 |

Houve diferença significativa entre os tratamentos com relação ao teor de Si no solo (Tabela 7). A wollastonita foi o melhor tratamento seguido dos demais que não diferiram entre si. Pode-se afirmar que a wollastonita apresenta alto efeito residual de Si no solo, uma vez que após o cultivo de arroz, foram observados altos teores desse elemento no solo, resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2007) ao avaliar o desenvolvimento de plantas de arroz em um Neossolo do Triângulo Mineiro empregando wollastonita e calcário.

Em relação aos valores de pH do solo, Ca e Mg trocáveis não se observou diferenças entre as fontes de Si, resultado este esperado devido ao balanceamento de bases efetuado antes da semeadura do arroz (Tabela 8). Tal fato é importante, pois assegura que as diferenças entre os tratamentos se devem exclusivamente ao efeito do Si, sem a interferência do pH, Ca e

Mg nos resultados. Esta observação está de acordo com Braga (2004) o qual trabalhando com várias fontes de Si também não observou diferenças entre os tratamentos para as variáveis de pH do solo, Ca e Mg trocáveis após ter feito balanceamento, isolando-se, assim os efeitos destes fatores sobre aqueles de interesse no estudo.

Tabela 7. Teores de Si no solo, conforme diferentes fontes aplicadas.

| Fontes | Si solo |
|----------------------|-----------------------------|
| | --- mg kg ⁻¹ --- |
| Wollastonita | 3,22 a |
| Fertilísício Master | 2,06 b |
| Fertilísício Ativado | 2,50 b |
| C.V. % | 17,22 |

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8. Valores médios de pH, e teores médios de cálcio e magnésio no solo após a colheita do arroz.

| pH | Cálcio | Magnésio |
|-----|--|----------|
| | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | |
| 4,8 | 2,8 | 0,1 |
| 4,9 | 2,8 | 0,1 |
| 5,2 | 3,4 | 0,2 |

A aplicação de Wollastonita resultou em aumento da disponibilidade de Si no solo. Conseqüentemente os teores de Si nas folhas coletadas aos 60 dias após a instalação do experimento também aumentaram (Figura 1). À medida que se aumentou a dose de Wollastonita, de 200 para 800 kg ha⁻¹ de Si, aumentaram-se os teores de Si na parte aérea (Figura 2) e Si acumulado. A aplicação de wollastanita proporcionou aumentos na produção de grãos e de matéria seca por parte da cultura do arroz (Figura 3). Tal resultado pode ser atribuído ao fato de a wollastonita se constituir em uma fonte de Si e ter fornecido esse elemento para as plantas, o qual teria contribuído para a elevação da produção de matéria seca e de grãos por parte das mesmas. Isso reforça as considerações de Malavolta et al. (1997),

Marschner (1995) e Epstein e Bloom (2006), segundo os quais a planta de arroz é uma acumuladora de Si, com respostas em aumento de crescimento e produção quando submetida à aplicação desse elemento.

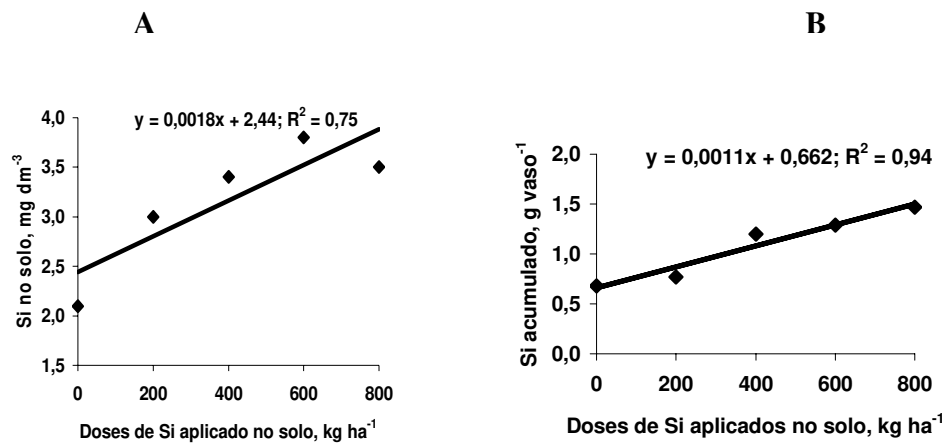


Figura 1. Teores médios de Si no solo (A) e Si acumulado na parte aérea das plantas de arroz (B) sob doses crescentes de Wollastonita.

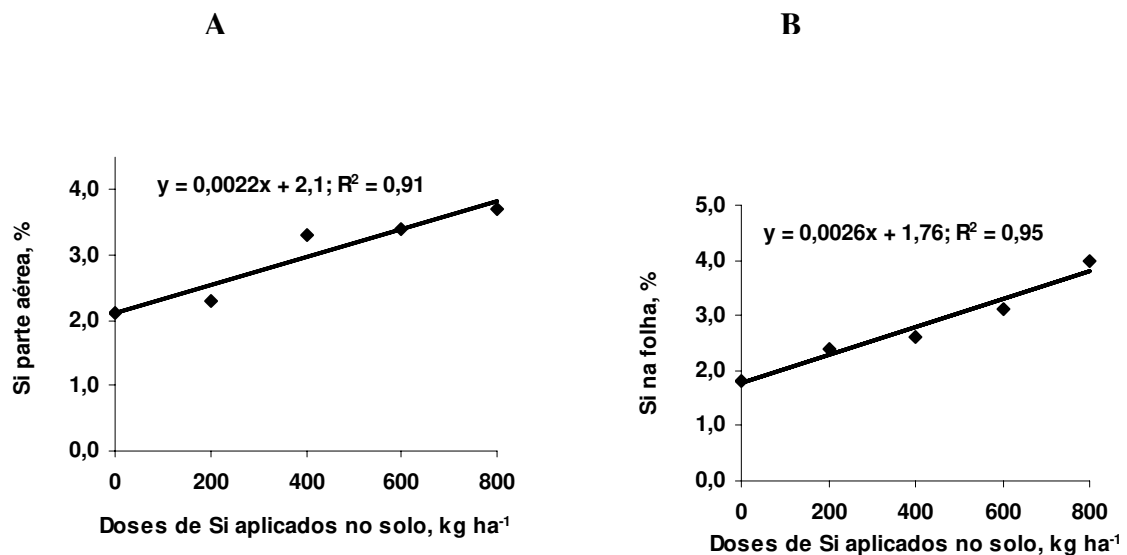


Figura 2. Efeito de doses de wollastonita sobre os teores na parte aérea das plantas de arroz (A) e folhas aos 60 dias (B).

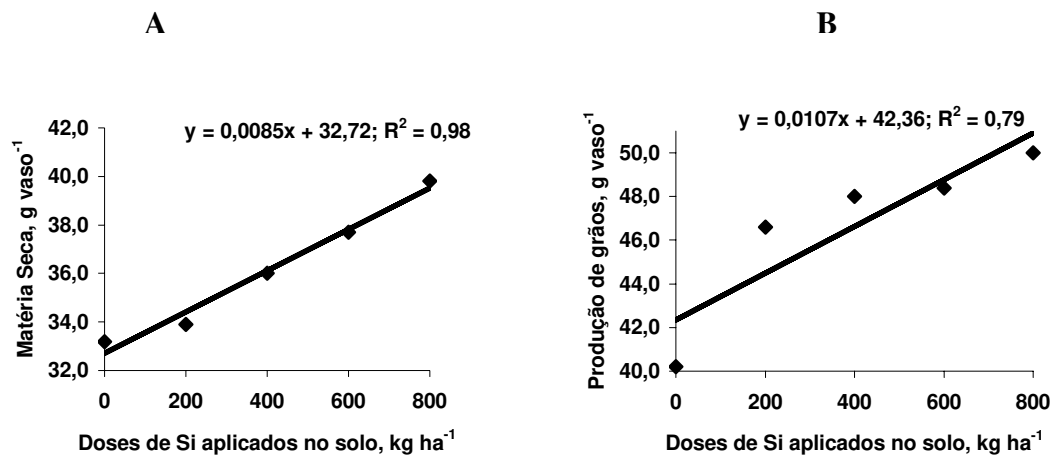


Figura 3. Efeito de doses de wollastonita sobre a massa seca da parte aérea (A) e de grãos (B).

5 CONCLUSÕES

- a) As fontes de Si Fertilício Master e Fertilício Master Aditivado bem como a Wollastonita proporcionaram incrementos nos teores de Si no solo.
- b) As fontes de Si (Wollastonita, Fertilício Master e Fertilício Master Aditivado) foram eficientes no fornecimento de Si para as plantas de arroz.
- c) Tanto a produção de grãos de arroz como a produção de matéria seca do arroz aumentou com o uso da Wollastonita, Fertilício Master e Fertilício Master Aditivado.
- d) As fontes de Si testadas apresentaram boas características agronômicas para uso como fertilizantes silicatados.

REFERÊNCIAS

- AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W. KAUFMAN, P.B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant production science**, Tóquio, v.1, p.96-103, 1998.
- ALCARDE, J.A.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. (ed). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. IN: SIMPÓSIO SOBRE "ACIDEZ E CALAGEM", XV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, Campinas, 1983; **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p. 11-23.
- BALASTRA, M.L.F.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v.67, p.2356-2363, 1989.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; ELLIOTT, C.L.; DATNOFF, L.E.; PRABHU, A.S., SILVA, O.F.; KORNDÖRFER, G.H. Resposta do arroz de sequeiro à aplicação de silício. In: FERTBIO 1998, Caxambu. **Anais...** Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. p.57.
- BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N.K.; DATNOFF, L.E.; SILVA, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.25, p.325-30, 2001.
- BERNI, F. R.; PRABHU, S. A. Eficiência relativa de fontes de silício no controle de brusone nas folhas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 2, p. 195-201, 2003.
- BRAGA, A. M.C. **Eficiência de fontes e doses de fertilizantes contendo silício na adubação do arroz inundado e do sorgo**. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2004.
- CARVALHO, J.C. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de silício**. 2000 119 f. Dissertação (Mestrado) Botucatu, Universidade Estadual Paulista.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, 2003.

COELHO, P.E. **Da escória ao vidro**. Revista Limpeza Pública, São Paulo, v. 49, p. 36-45, dez. 1998.

DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, New York, v.34, p.733-37, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1999. 212p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FARIA, R.G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado) Lavras, Universidade Federal de Lavras.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: Reunião anual da região brasileira da sociedade internacional de biometria, 45., 2000, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: UFSCar, 2000. p. 255-258.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.

KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.23, p.635-41, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA. H. S.; NOLLA. A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 34 p (Boletim técnico, 2), 2004.

LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science**, New York, v.25, p.2285-97, 1994.

MA, J. F., TAMAI, K., YAMAJI, N., MITANI, N., KONISHI, S., KATSUHARA, M., ISHIGURO M., YOSHIKO, M., YANO, M., A silicon transporter in rice. **Nature**, New York v.440, p.688-691, 2006.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier Science. 2002. 281 p.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001, p. 17-39.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P deficient soil. **Plant and Soil**, Den Haag, v.133, p.151-155, 1991.

- MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, Den Haag, v.126, p.115-119, 1990a.
- MA, J.F.; TAKAHASHI, E. The effect of silicon acid on rice in a P- deficient soil. **Plant and Soil**, Den Haag, v.126, p.121-125, 1990b.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2ª ed. New York: Academic Press Inc., 1995. 887p.
- MENGEL, K; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., 2004. **Palestras...** Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. CD-ROM.
- PEREIRA, H.S.; KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.16, n. 5, p. 522-528, 2004.
- POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D.M.S. O silício no controle de doenças de plantas. **Revisão anual de patologia de plantas**, Passo Fundo, v.2, p.373-402, 2004.
- PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudo na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 67p.
- QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39f. Monografia (Graduação em agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.
- RAMOS, L.A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. 2005. 63 f. Dissertação (mestrado) Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.
- SANCHES, A.B. **Efeito do Silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-Braquiarião [*Brachiaria brizantha* (Hoechst ex A. Rich.) Stapf. c.v. Marandu] sob intensidade de pastejo**. 2003. 122p. Tese (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de alimentos – Universidade de São Paulo, Pirassununga.
- SANTOS, D. S. Avaliação do desenvolvimento do Arroz (*Oryza sativa*) em um Neosolo do triângulo mineiro pela aplicação de doses de calcário e wollastonita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 4, Botucatu: UNESP-FCA, p.67-70. 2007.
- SAVANT, N.K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Depletion of plant-avaivable silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications in Soil Science**, New York, v.28, p.1245-52, 1997.

TANAKA, A.; PARK, Y.D. Significance of the absorption and distribution of silica in the growth of rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tóquio, v.12, p.23-8, 1966.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BESTON, J.D; HAULIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer**. New York, Macmillam, 1993. p.634.

WINSLON, M.D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, New York, v.32, p.1208-1213, 1992.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Tokio, v.8, p.15-21, 1962.