

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

CAROLINA DE BRITO DIAS

FONTES E DOSES DE SILICATOS NA CULTURA DO ARROZ INUNDADO

**Uberlândia – MG
Julho – 2010**

CAROLINA DE BRITO DIAS

FONTES E DOSES DE SILICATOS NA CULTURA DO ARROZ INUNDADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção de grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Gaspar H. Korndörfer

**Uberlândia – MG
Julho – 2010**

CAROLINA DE BRITO DIAS

FONTES E DOSES DE SILICATOS NA CULTURA DO ARROZ INUNDADO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para obtenção de grau de Engenheira Agrônoma.

Aprovada pela Banca Examinadora em 27 de Maio de 2010.

Eng. Agrônomo Douglas da Silva Santos
Membro da Banca

Eng. Agrônoma Ana Paula dos Santos
Membro da Banca



Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

RESUMO

O silício (Si) é um micronutriente benéfico no desenvolvimento das plantas, principalmente gramíneas, proporcionando melhoria no estado nutricional e aumento na produtividade, devido a formação de uma barreira física contra ataque de insetos e fungos e aumento a tolerância a estresse abióticos. Com o objetivo de identificar as fontes que melhor disponibilizam o Si ao solo para a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) do ecossistema de várzea, realizou-se um experimento na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Utilizou-se vasos de 8 kg com um Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado, textura média, fase cerrado tropical subcaducifólio com relevo suave ondulado. O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados (DBC). As fontes de Si utilizadas foram Recmix (Silicato de cálcio e magnésio), Silicato de sódio e potássio, Silicato de potássio e Silicato de sódio nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si, visando identificar a melhor fonte e dose. Após foi semeada a cultivar de arroz BRS Ourominas, e após 135 dias avaliou-se a massa de panículas, matéria seca da parte aérea, teor de Si da parte aérea, teor de silício disponível do solo e Si acumulado. O aumento da dose influenciou o teor de Si da parte aérea devido acúmulo do micronutriente entre a cutícula e a epiderme, o que proporcionou maior rigidez; e o Si acumulado na parte aérea da cultivar teve melhor resultado na dose de 400 kg ha⁻¹ devido maior disponibilização para a planta. A fonte Recmix apresentou o melhor resultado para todos os parâmetros analisados, em função da reatividade no solo e da disponibilidade do fertilizante para a planta.

Palavras chave: silício, adubação, *Oryza sativa* L..

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	05
2	REVISÃO DE LITERATURA	07
2.1	Importância do silício na cultura do arroz inundado	07
2.1.1	A cultivar BRS Ourominas	08
2.2	Benefícios do silício.....	07
2.2.1	Silício no solo	10
2.2.2	Silício na planta	11
3	MATERIAL E MÉTODOS	13
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5	CONCLUSÕES.....	18
	REFERÊNCIAS	19

1 INTRODUÇÃO

O silício é um micronutriente benéfico para o desenvolvimento das plantas, devido proporcionar melhoria no estado nutricional das plantas, sendo observada a redução na toxidez de ferro, manganês, alumínio e sódio, redução na taxa de transpiração, eficiência fotossintética, resistência a pragas, além de controlar doenças na planta (LIMA FILHO et al., 1999). Com isso, o silício é responsável pelo melhor crescimento em diversas espécies, tanto em mono como dicotiledôneas de acordo com Epstein (1994). Este micronutriente ocorre na natureza nas formas de sílica e silicatos, não sendo encontrado puro (KORNDORFER et al., 2002), e é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico (H_4SiO_4) em taxa variável, de acordo com cada espécie (EPSTEIN, 1994).

A importância da adubação silicatada para as plantas está relacionada com aumento da produtividade devido o desenvolvimento de plantas vigorosas com folhas eretas que permitem a entrada de luz e, conseqüentemente, redução do auto-sombreamento e uma melhor taxa fotossintética; a formação de tecidos estruturais rígidos que reduzem o acamamento e o aumento da tolerância à estresse abióticos (EPSTEIN, 1994; MARSCHNER, 1995).

Na região central do Brasil os solos do Cerrado são pobres em Si disponível para as plantas (RAIJ; CAMARGO, 1973). Nessas condições e de acordo com trabalhos científicos, observou-se que existe resposta positivas para aplicação de Si na adubação, principalmente, quando aplicado em plantas acumuladoras de silício, como é o caso das gramíneas.

Um número grande de materiais tem sido utilizado como fonte de Si para as plantas: escórias de indústrias siderúrgicas, wollastonita (metasilicato de cálcio ($CaOSiO_2$) que possui uma composição de 48,3 % de óxido de cálcio (CaO) e 51,7% de dióxido de silício (SiO_2)), subprodutos da produção de fósforo elementar, silicato de cálcio, silicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio (serpentinó), silicato de potássio (KORNDORFER et al., 2002) e sílica coloidal.

As fontes com maior potencial de silício precisam apresentar características agrônômicas para fins agrícolas como: altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, adequados teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) e baixo potencial de contaminação do solo com metais pesados (KORNDÖRFER et al., 2004).

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais responsivas à aplicação de silício e, em alguns países como Japão, Coréia, Taiwan e no sul da Flórida, nos Estados Unidos, a adubação com o silício já é utilizada em larga escala (IMAZUMI & YOSHIDA, 1958; PARK et

al., 1964, 1976; TAKIJIMA et al., 1970; LIAN, 1976; YOSHIDA et al., 1976, 1979; SNYDER et al., 1986; DATNOFF et al., 1991, 1992; DEREN et al., 1992, 1994; MATICHENKOV et al., 1995). No Japão, por exemplo, 25% da área cultivada com arroz recebem anualmente aplicações de silicato de cálcio que variam de 0,5 a 1,0 toneladas, demonstrando a importância da utilização do Si no Japão (SOCIESC, 2007).

No Brasil, estudos em casa de vegetação com arroz inundado, utilizando doses crescentes de fontes de Si, vêm apresentando aumentos significativos na produção de grãos devido maiores doses aplicadas (KORNDÖRFER et al., 2001). Segundo Marschner (1995) e Takahashi (1995), o Si acumulado na planta de arroz reduz a taxa de transpiração, diminuindo o consumo de água pela planta.

Dada a importância da adubação silicatada para a cultura do arroz, existem inúmeras informações disponíveis sobre o comportamento do Si em plantas, com maior ênfase no crescimento e produtividade de gramíneas, hortaliças e cereais de maior importância econômica.

Em busca de novos subsídios a respeito do uso do silício na agricultura, objetivou-se avaliar o desempenho de fontes silicatadas na disponibilidade e fornecimento de Si e, o efeito de doses crescentes de Recmix (fonte padrão) e as demais fontes sobre o desenvolvimento do arroz inundado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do silício na cultura do arroz inundado

O silício foi obtido pela primeira vez por Davy em 1809. 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).

A produtividade de muitas gramíneas, como arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, e algumas espécies não-gramíneas como alfafa, feijão, tomate, alface e repolho, apresentam aumentos na produtividade com o aumento da disponibilidade de Si no solo (ELAWAD; GREEN, 1979; KORNDÖRFER; LEPSCH, 1999).

Na planta, o Si concentra-se nos tecidos de suporte do caule e das folhas, oferecendo estrutura e resistência ao acamamento, mas também pode ser encontrado em pequenas quantidades nos grãos e frutos.

Algumas espécies de plantas como arroz, cana-de-açúcar e gramíneas, podem absorver até 7% de silício (Tabela 1).

Tabela 1. Teor de Si encontrados em folhas de plantas cultivadas.

Espécie	% Si folhas	Espécie	% Si folhas
<i>Arroz</i>	2,70 – 8,40	<i>Centeio</i>	0,46 – 1,23
<i>Aveia</i>	0,46 – 1,23	<i>Cevada</i>	0,42 – 4,71
<i>Algodão</i>	0,28 – 2,71	<i>Girassol</i>	1,20 – 2,30
<i>Beterraba</i>	0,10 – 1,70	<i>Milho</i>	0,30 – 0,80
<i>Cacau</i>	2,10 – 2,90	<i>Tabaco</i>	0,16 – 0,65
<i>Cavalinha</i>	0,70 – 8,70	<i>Trigo</i>	0,16 – 3,10

Fonte: Korndörfer et al. 1999

O Si ao ser absorvido é capaz de formar uma barreira mecânica à invasão de fungos para o interior da planta, dificultando também o ataque de insetos sugadores e herbívoros (MCNAUGHTOM; TARRANTS, 1983; EPSTEIN 1999). O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de Si na forma de sílica amorfa ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

A adubação com Si tem mostrado eficiência no controle de insetos-pragas e de várias doenças importantes, principalmente fúngicas. 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 15-32% em relação ao tratamento que não recebeu Si (DATNOFF et al., 1990; DATNOFF et al., 1991), devido formação de uma camada de sílica abaixo da cutícula, nas células epidérmicas, as quais segundo alguns autores (MARSCHNER, 1995; TAKAHASHI, 1995) teriam a função de limitar a perda de água.

A acumulação de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de Si, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor.

Korndörfer (1999) mostra que o teor de Si absorvido está também associado com a resistência ao acamamento e o controle da evapotranspiração.

Para o arroz, o Si tem mostrado ser um elemento benéfico, capaz de aumentar o rendimento desta cultura através da diminuição da toxidez de Fe e Mn e do aumento da disponibilidade de P, devido a sua liberação dos fosfatos de Fe (JONES; HANDRECK, 1967; MA; TAKAHASHI, 1990a, 1990b, 1991). Além desse efeito do Si no solo, vários pesquisadores demonstraram que ele também está relacionado com a reação do arroz a várias e importantes doenças, tais como a brusone, causada por *Pyricularia grisea*.

A presença do ácido silícico no solo é influenciada por fatores como: decomposição de resíduos vegetais, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do silício dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e adição de fertilizantes silicatados. Os principais drenos destes incluem a precipitação do silício em solução formando minerais; a polimerização do ácido silícico; a lixiviação; a adsorção em óxidos e os hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

2.1.1 Cultivar BRS Ourominas

A cultivar de arroz foi lançada pela EPAMIG e EMBRAPA Arroz e Feijão, para ser cultivada em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul com irrigação por inundação contínua com controle da lâmina de água e em várzeas úmidas. É resultante do cruzamento de linhagens 17719, 5738 e IR 21015-72-3-3-3-1, realizado pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Possui ciclo médio, atingindo a maturação com 130 a 140 dias após semeadura, período da emergência à floração de 94 a 105 dias, alta capacidade de perfilhamento, porte médio (95 cm), resistência ao acamamento e a brusone (*Pyricularia*

grisea) (EMBRAPA, 2008).

A utilização da cultivar BRS Ourominas como arroz inundado possui maturação uniforme, folhas eretas e pilosas, panícula de aproximadamente 24 cm, alto potencial genético com renda industrial de 65% e 55% de grãos inteiros e grão tipo longo fino (agulhinha).

2.2 Benefícios do silício

A sua absorção e seu acúmulo pelas plantas trazem inúmeros benefícios (MARSCHNER, 1995). Os efeitos benéficos do Si sobre o crescimento das plantas pode ser de caráter físico e fisiológico. Os benefícios físicos estão relacionados ao acúmulo do Si na parede celular das plantas, reduzindo a perda d'água, melhorando a arquitetura das plantas e constituindo barreira física à penetração de insetos e de fitopatógenos (SANTOS et al., 2005). O silício depositado nos tecidos da epiderme interfere no crescimento das hifas dos fungos, dificultando, assim, a penetração do tubo germinativo do fungo (DATNOFF et al., 1997; BELANGER et al., 1995). Sobre os benefícios fisiológicos alguns autores relatam que plantas com adubação silicatada apresentam maior atividade fotossintética e resistência ao ataque de fitopatógenos e pragas, devido ao fato de o silício induzir uma série de reações metabólicas nas plantas, resultando na formação de compostos com atividade antimicrobiana (MENZIES et al., 1991).

Segundo relatos de Oliveira e Castro (2002), a acumulação de Si nas folhas de espécies típicas do cerrado pode ser semelhante à formação de uma dupla camada de sílica, que causa redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos, limitando a perda de água, descrita por Takahashi (1995).

Portanto, os efeitos benéficos do Si para as plantas estão envolvidos direta e indiretamente na adaptação dessas às condições de estresses bióticos, como ataque de fitopatógenos, e abióticos, como estresse hídrico, toxidez de metais (Fe, Al, Mn, Cu, Cd, etc.) e salinidade (EPSTEIN, 1999; ROGALLA; RÖMHELD, 2002; HECKMAN et al., 2003; ZHU et al., 2004).

2.2.1 Silício no solo

Segundo Tisdale et al. (1985), o Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, com uma concentração média na litosfera de 27%, variando entre 23 e 35% nos

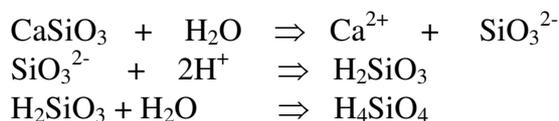
solos onde está presente principalmente no mineral inerte das areias, o quartzo (SiO_2), bem como na caulinita e outros elementos de argila (RAIJ, 1991).

As principais formas de Si presentes no solo são: I) silício solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico) prontamente absorvido pelas plantas, que é desprovido de carga elétrica; II) silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio, III) os minerais silicatados (cristalinos e amorfos), IV) silício polimerizado, V) silício orgânico e VI) silício na forma de fitólitos (FOY, 1992).

Os silicatos são as principais fontes de silício para agricultura, mas para que sejam empregados é necessária a retirada dos metais pesados, algumas vezes em alta concentração, o que pode provocar problemas ambientais.

As características ideais para uma boa 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.

Os silicatos possuem efeito corretivo (ALCARDE, 1992). Com a sua aplicação no solo, o pH aumenta, os teores de alumínio (Al^{+3}) diminuem, a Saturação por Bases (V%) aumenta e a Saturação por alumínio (m%) diminui. Isto acontece porque os silicatos promovem a reação dos ânions SiO_3^{2-} com os prótons de hidrogênio.



Dentre as formas de liberação, entrada e fornecimento de ácido silícico para a solução do solo as principais são a decomposição de resíduos vegetais, a dissociação do ácido silícico polimérico, a liberação de silício dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, a dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, a adição de fertilizantes silicatados e a água de irrigação. Dentre os principais drenos de silício, encontram-se a precipitação do mesmo em solução, formando minerais, a polimerização do ácido silícico, a lixiviação, a adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

Alguns fatores do solo influenciam a concentração de Si na solução do solo como a composição mineralógica e textural, o processo de ciclagem dos nutrientes, a acidez do solo e a predominância de íons na solução (MCKEAGUE; CLINE, 1963).

No solo, os íons SiO_3^{2-} reagem com H^+ , formando ácido monossilícico, que é a forma assimilada pela planta. Na solução do solo, o H_4SiO_4 comporta-se como um ácido

extremamente fraco, de forma que em pH 7,0, apenas 0,2% ioniza-se na forma carregada negativamente $\text{SiO}(\text{OH})_3^-$ (BRAGA, 2004).

2.2.2 Silício na planta

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 acumuladoras de Si, como o arroz (MENGEL; KIRKBY, 1987).

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).

Segundo Balastra et al. (1989) o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. A forma de deposição de silício é como sílica amorfa e hidratada ou opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Uma vez depositado, o silício torna-se imóvel e não mais se redistribui nas 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 silício é acumulado naturalmente em altas concentrações nas folhas de determinadas culturas. Na cana-de-açúcar, por exemplo, as concentrações podem variar desde valores muito baixos em folhas jovens (0,14% de Si) até valores muito altos em folhas velhas (6,7% de Si) (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995). A deposição de Si junto à cutícula das folhas confere proteção às plantas e ameniza os efeitos de estresses de natureza biótica e abiótica (EPSTEIN, 1999).

A distribuição dos depósitos de Si nas plantas depende da espécie vegetal e das condições climáticas do ambiente onde ela cresce (WRANG et al., 1998). Segundo Raij (1991), a absorção do silício da solução do solo pelas gramíneas dá-se de forma passiva, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas, enquanto que nas dicotiledôneas a sua absorção ocorre por meio de mecanismos que dificultam a absorção de quantidades elevadas desse nutriente. Conseqüentemente, nas gramíneas os teores de silício chegam a ser de 10 a 20 vezes maiores que nas dicotiledôneas.

Segundo Ma et al. (2001), são definidas como acumuladoras as plantas com teor de Si na massa seca superior a 1% e com relação Si/Ca maior do que 1. Gramíneas, como o arroz e o trigo, são exemplos deste grupo. Plantas como a soja e as da família Curcubitaceae, com 0,5 a 1% de Si na matéria seca, porém, com relação Si/Ca inferior a 1, são classificadas como de exigência intermediária. Já as plantas não acumuladoras apresentam como característica concentração de Si na matéria seca inferior a 0,5% de Si.

Quanto à produção de massa seca da parte aérea, tem-se verificado que a aplicação de Si não altera essa variável na cultura do arroz (TANAKA; PARK, 1966; LIANG et al., 1994). 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 de cultivares quanto à exigência e à capacidade de extração. Essa hipótese é ressaltada por Winslon (1992) e Barbosa Filho et al. (1998) que relataram que há diferença genotípica entre as espécies quanto à capacidade de absorver Si.

Em estudos na cultura do arroz, Berni e Prabhu (2003), verificando a eficiência de fontes de silício, na redução da severidade de brusone nas folhas da cultivar de Metica-I em área de várzea, constataram-se que houve diminuição da variável estudada com o aumento das doses de Si.

Atualmente, estudos com aplicação de Si em gramíneas incentivou alguns pesquisadores a estudar o Si em espécies não acumuladoras de Si, como é o caso das dicotiledôneas. Nessas plantas, o silício pode agir como elemento capaz de induzir mecanismos de defesa da própria planta pela ativação de várias estratégias de defesa, incluindo síntese de compostos fenólicos, lignina, suberina e calose na parede celular das plantas (POZZA et al., 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, localizada no Campus Umuarama, em Uberlândia – MG, para avaliar a influência de fontes e doses de silicatos na cultura do arroz inundado (*Oryza sativa* L.).

Utilizou-se amostras de um solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado, textura média (77% de areia), fase cerrado tropical subcaducifólio, relevo suave ondulado, originado da Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade Federal de Uberlândia, cujas características químicas e físicas se encontram nas Tabelas 2 e 3. No preparo do solo, o mesmo foi seco e peneirado para a incorporação dos tratamentos.

Tabela 2. Caracterização química da amostra de solo do Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado.

pH _{H₂O}	P _{meh⁻¹}	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
		-----mg dm ⁻³ -----							----- cmol _c dm ⁻³ -----					-- % --	dag kg ⁻¹	
5,2	2,7	0,05	0,6	59	2,4	0,3	4,3	0,3	0,7	0,3	1,1	1,4	4,2	27	21	1,3

P_{meh⁻¹} (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 (Korndörfer, 2004). M.O. – método colorimétrico; B- [BaCl₂.2H₂O 0,125 à quente]; Cu,Fe,Mn,Zn- [DTPA 0,005 mol.L⁻¹ + TEA 0,1 mol.L⁻¹ a pH 7,3].

Tabela 3. Caracterização física da amostra de solo do Latossolo Vermelho distrófico típico A moderado.

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- g kg ⁻¹ -----			
418	347	25	210

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

As fontes de Si (Tabela 4) foram pesadas e misturadas ao solo, juntamente com adubação que constou da aplicação de 0,3 g kg⁻¹ de uréia, 0,5 g kg⁻¹ de Super Triplo, 0,35 g kg⁻¹ de KCl e 0,1g kg⁻¹ do formulado de micronutrientes contendo 9% de Zinco; 3% de Ferro; 2% de Manganês; 1,8% de Boro; 0,8% de Cobre e 0,1% de Molibdênio. O fornecimento de N e K foi parcelado, sendo que a metade foi aplicada na semeadura, dia 26 de agosto de 2008, e a outra metade, em cobertura, após 21 dias da primeira aplicação, dia 17 de setembro de 2008.

O solo foi colocado em vasos plásticos de 8 kg, onde permaneceu durante 20 dias incubados até a semeadura do arroz. Durante esse período, manteve-se a umidade do solo próxima de 80% da capacidade de campo.

Para avaliar a reatividade das fontes de Si (Tabela 4), incorporou-se ao solo dos vasos,

as fontes Recmix, Silicato de sódio, Silicato de potássio e Silicato de sódio e potássio nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. O delineamento estatístico utilizado foi de blocos casualizados (DBC) 4x2x4, totalizando 32 parcelas.

Tabela 4. Características químicas das fontes utilizadas no experimento.

Fontes	Si Total	Si Solúvel	CaO	MgO
	----- % -----			
Recmix (padrão)	11,2	1,5	42,0	12,0
Silicato de Sódio	24,7	5,5	0,0	0,0
Silicato Potássio	25,3	6,5	0,0	0,0
Silicato de Sódio e Potássio	30,6	5,5	0,0	0,0

Semeou-se vinte sementes por vaso, dia 26 de agosto de 2008, da cultivar BRS Ourominas e, após a emergência das plântulas realizou-se o desbaste, deixando apenas cinco plantas por vaso. Os vasos foram inundados com água dia 15 de setembro de 2008, sete dias após a emergência das plântulas, deixando-se uma lâmina de água de aproximadamente 2,0 cm. Sendo a água dos vasos mantida neste nível estabelecido durante todo o período do experimento.

As plantas da cultivar de arroz BRS Ourominas foram colhidas 135 dias após a semeadura, dia 15 de janeiro de 2009, separando-se as panículas do restante da planta. As panículas foram pesadas em balança de precisão com 4 casas decimais e a parte aérea (folha + colmo) foi seca em estufa com ventilação forçada a uma temperatura de 65° C para obtenção da massa seca. Determinou-se o teor de silício da parte aérea (folha + colmo), conforme metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004) e calculou-se o Si na massa seca.

O solo foi retirado e seco ao ar livre para retirar a umidade em excesso e, em seguida, seco em estufa de ventilação forçada a 45° C até peso constante. O mesmo foi moído manualmente e, em seguida, determinou-se o teor de silício solúvel no solo conforme metodologia proposta por Korndörfer et al. (2004).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e posteriormente as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de variação dose de Si e interação entre fonte e dose não proporcionaram alteração significativa nas variáveis de massa de panícula e matéria seca (MSPA) de parte aérea das plantas (Tabelas 5 e 6). Mas segundo pesquisas realizadas por Faria (2000), o aumento de dose ocasionou aumento na massa de panículas e, conseqüentemente na produção de grãos, com o aumento das doses de Si aplicadas.

Conforme Tabela 5, observou-se que a cultivar BRS Ourominas teve o melhor resultado com aplicação da fonte Recmix. Como verificado em trabalhos na literatura, Recmix é fonte padrão utilizada como fonte de Si para testes comparativos com outras fontes e que para a cultura do arroz a aplicação de fontes de Si tem proporcionado aumentos significativos de produção (KORNDORFER et al., 1999), sendo esse nutriente considerado essencial para a cultura do arroz, segundo critérios de essencialidade propostos por Epstein e Bloom (2006).

Tabela 5. Massa de panículas do arroz inundado em função da aplicação de fontes e doses de silicatos.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)		Médias
	200	400	
	-----g vaso ⁻¹ -----		
Silicato de potássio	30,97	31,09	31,03 b
Silicato de sódio	35,78	33,05	34,42 b
Silicato de sódio e potássio	36,91	36,79	36,85 b
Recmix	51,29	54,27	52,78 a
Médias	38,74 A	38,80 A	

DMS fonte = 11,79 e DMS dose = 6,22

CV (%) = 21,82

F_{Fonte} = 10,4

F_{Dose} = 0,0^{ns}

F_{FxD} = 0,15^{ns}

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Conforme a Tabela 6, Recmix foi a fonte que melhor disponibilizou silício para o arroz inundado, como pode ser visto pelos resultados de Si na massa seca (MSPA). Korndörfer et al. (1999) ao estudar fontes de silício para a cultura do arroz, também observou para Recmix a produção da melhor quantidade de massa seca para as plantas. Enquanto que para o aumento de dose não se observou resultados significativos entre os tratamentos.

Outra hipótese pode ser a defendida por Ramos (2005), que afirma que a falta de resposta para a aplicação de doses de Si sobre a produção a massa de panículas e produção de

massa seca da parte aérea, se deve ao fato do experimento ter sido conduzido em casa-de-vegetação, onde não existe nenhum tipo de estresse para a planta.

Tabela 6. Massa seca da parte aérea (MSPA) do arroz inundado em função da aplicação de fontes e doses de silicatos.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)		Médias
	200	400	
	-----g vaso ⁻¹ -----		
Silicato de potássio	70,25	68,25	69,25 b
Silicato de sódio	69,25	70,25	69,75 b
Silicato de sódio e potássio	71,75	69,00	70,27 b
Recmix	78,50	83,00	80,25 a
Médias	72,18 A	72,62 A	

DMS fonte = 8,44 e DMS dose = 4,45

CV (%) = 8,37

F_{Fonte} = 6,0

F_{Dose} = 0,04^{ns}

F_{FxD} = 0,7^{ns}

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Observou-se que as doses e fontes proporcionaram alteração significativa, pelo teste de Tukey, para os teores foliares de Si e acúmulo de Si na parte aérea do arroz (Tabela 7 e 8). Como esperado, a Recmix foi a que proporcionou os maiores valores para teores e acúmulo de Si na parte aérea, porém não houve diferença estatística com o Silicato de potássio para o teor de Si na parte aérea (Tabela 7).

Conforme Tabelas 7 e 8, os melhores resultados para teor de Si depositado e Si acumulado, na parte aérea, foi na dose de 400 kg ha⁻¹.

Tabela 7. Teor de silício da parte aérea do arroz inundado em função da aplicação de fontes e doses de silicatos.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)		Médias
	200	400	
	-----%-----		
Silicato de potássio	1,26	1,39	1,32 ab
Silicato de sódio	1,07	1,44	1,25 b
Silicato de sódio e potássio	1,08	1,12	1,10 b
Recmix	1,38	1,78	1,58 a
Médias	1,20 B	1,43 A	

DMS fonte = 0,29 e DMS dose = 0,15

CV (%) = 15,94

F_{Fonte} = 7,2

F_{Dose} = 9,9

F_{FxD} = 1,4^{ns}

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 8, observou-se que a o Si acumulado na parte aérea teve melhor resultado quando a fonte Recmix foi aplicada na dose de 400 kg ha⁻¹. Segundo Ramos (2008), este resultado indica uma maior eficiência na disponibilização de silício quanto a aplicação do produto silicatado que tem na sua composição cálcio e magnésio.

Tabela 8. Silício acumulado na parte aérea do arroz inundado em função da aplicação de fontes e doses de silicatos.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)		Médias
	200	400	
	-----mg vaso ⁻¹ -----		
Silicato de potássio	0,88	0,93	0,90 b
Silicato de sódio	0,75	1,01	0,88 b
Silicato de sódio e potássio	0,78	0,76	0,77 b
Recmix	106	1,48	1,27 a
Médias	0,87 B	1,04 A	

DMS fonte = 0,23 e DMS dose = 0,12

CV (%) = 17,32

F_{Fonte} = 13,8

F_{Dose} = 9,1^{ns}

F_{FxD} = 2,8^{ns}

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para os teores de Si trocável no solo, independentemente da dose, a fonte Silicato de sódio e Recmix proporcionaram os maiores valores, não diferindo entre si, e apresentaram os maiores valores em relação às demais fontes (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de silício disponível no solo, cultivado com arroz inundado, em função da aplicação de fontes e doses de silicatos.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)		Médias
	200	400	
	-----mg dm ⁻³ -----		
Silicato de potássio	1,53	1,66	1,59 b
Silicato de sódio	1,92	2,03	1,98 a
Silicato de sódio e potássio	1,09	1,17	1,13 c
Recmix	1,79	1,91	1,85 ab
Médias	1,58 A	1,69 A	

DMS fonte = 0,28 e DMS dose = 0,14

CV (%) = 12,26

F_{Fonte} = 27,9

F_{Dose} = 2,3^{ns}

F_{FxD} = 0,02^{ns}

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de doses crescentes dos silicatos aumentou os teores de Si da parte aérea e Si acumulado na cultivar BRS Ourominas, devido maior disponibilização para a planta.

O Silicato de potássio teve os melhores resultados quanto ao teor de Si da parte aérea da planta e o Silicato de sódio os melhores resultados quanto teor de Si disponível no solo para o arroz, mas não diferiram estatisticamente da fonte Recmix.

A fonte que teve o melhor desempenho para massa de panículas, massa seca da parte aérea, teor de Si da parte aérea, teor de Si disponível no solo e Si acumulado na parte aérea, foi a fonte padrão Recmix (Silicato de cálcio e magnésio).

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1992. p.1-26. (Boletim Técnico, 6).
- 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.
- BELANGER, R.R.; BOWEN, P.A.; EHRET, D.L.; MENZIES, J.G. Soluble silicon – its role in crop and disease management of greenhouse crops. **Plant Disease**, St. Paul, v.79, n.4, 1995.
- 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**. 123 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, St. Paul, v.5, p.65, 1990.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v.75, p.729-732, 1991.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; DEREN, C.W. Influence of silicon fertilizer grades on blast and brown spot development and on rice yields. **Plant Disease**, St. Paul, v.76, p.1182-1184, 1992.
- DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Guildford, v. 16, 1997. p. 525-531.
- DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. Detection of silica in plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 70, p.1079-1084. 1983.
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Variable silicon content of rice cultivars grow on Everglades Histosols. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.2363-2368, 1992.

ELAWAD, S.H.; GREEN JUNIOR, V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Review IL Riso**, Milano, v.28, p.235-253, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro: CNPS. 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa Arroz e Feijão**. Brasília, 28 dez. 2004. Disponível em: Acesso em: 12 de agosto de 2008.

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

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, p.11- 17. 1994.

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

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, v.19, p.97-149, 1992.

HECKMAN, J. R.; JOHNSTON, S.; COWGILL, W. Pumpkin yield and disease response to amending soil with silicon. **Hort Science**, Alexandria, v. 38, n. 4, p.552-554, July 2003.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method of growing plants without soil**. Berkeley: University Of California, 1950. 32 p.

IMAIZUMI, K.; YOSHIDA, S. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soils. **Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences**, Ibaraki, v.8, p.261-304, 1958.

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.; DATNOFF, L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p. 1-3, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; CORREIA, G. F. Influence of silicon on grain discoloration and upland rice growth in four savana soils of Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 22, p. 93-102, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 1. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 23, 1999. Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 313-316.

KORNDORFER, G.H.; ARANTES, V.; CORREA, G.F.; SNYDER G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.623-629, 1999b.

KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and yield. In: DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.133-147.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura**. 2.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2002. 24 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H; PERREIRA, H. S; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: UFU. 2004. 34p. (Boletim técnico2).

LIAN, S. Silica fertilization of rice. In: _____. **The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice**. Taipei: Food and fertilizer technology center, 1976. p.197-220.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G; TSAI, M. **Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças**. Boletim informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”, n.87, p.8-12, 1999. (Encarte técnico).

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

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, The Hague, 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**, The Hague, v.126, p.121-125, 1990b.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ª ed. Londres: Academic Press, 1995. 889 p.

MATICHENKOV, V.V.; ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H. Silicon in the soil and plant. Part II. as a matter of fact... **Sugar Journal**, New Orleans, p.8-9, Jun.1995.

MENGEL, K; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**, 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. **Advances in Agronomy**. San Diego, v. 15, p. 339-397, 1963.

MCNAUGHTO S.J, TARRANTS J.L. **Grass leaf silicification - natural-selection for an inducible defense against herbivores.** Proc. Natl Acad. Sci. USA. 80, 790–791, 1983.

MENGEL K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** 5ª ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*, **Physiological and Molecular Plant Pathology**, London, v. 39, n. 6, p. 403-414, Dec. 1991.

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de Sílica nas Folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**, Uberlândia, v.1, p.4, 2002. Disponível em: www.propp.ufu.br/revistaeletronica/B/OCORRENCIA. Acesso em 11 de abril de 2010.

PARK, Y.S.; OH, W.K.; PARK, C.S. A study of the silica content of the rice plant. **Research Reports of the Office Rural Development**, Suwon, v.7, n. 1, p.31-38, 1964.

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.12, p.373-402, 2008.

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

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

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 em Solos) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

RAMOS. L. A.; KORNDORFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.563-568, 2008.

ROGALLA, H.; RÖMHELD, V. Role of leaf apoplast in silicon-mediated manganese tolerance of *Cucumis sativus* L. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 549-555, Apr. 2002.

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

SOCIEDADE EDUCACIONAL DE SANTA CATARINA. **SOCIESC.** Joinville - SC, 25 set. 2007. Disponível em: <http://www.sociesc.org.br/pt/home/>. Acesso em: 12 de abril de 2010.

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

TAKAHA. SHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1995. v.2, p.420-433.

TAKIJIMA, Y., WIJAYARATNA, H.M.S.; SENEVIRATNE, C.J. Nutrient deficiency and physiological disease of lowland rice in Ceylon. III. Effect of silicate fertilizers and dolomite for increasing rice yields. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v.16, p.11- 16, 1970.

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

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers: Micronutrientes and Other Beneficial Elements in Soil and Fertilizers**. 4ª edição. Englewood Cliffs: Prentice Hall. 1985. 754 p.

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

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.

WRANG, S.S.; KIM, K.; HESS, W.M. Variation of silica bodies in leaf epidermal long cells within and among seventeen species of *Oryza* (Poaceae). **American Journal of Botany**, Columbus, v. 85, n.4, p.461-466. 1998.

YOSHIDA, S.; FORNO, D.A.; COOK, J.H.; GOMEZ, K.A. **Laboratory manual for physiological studies of rice**. 3.ed. Los Banos: IRRI, 1976. 83p.

ZHU, Z. J.; WEI, G. Q.; LI, J.; QIAN, Q. Q.; YU, J. Q. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, Limerick, v. 167, n. 3, p. 527-533, Sept. 2004.