

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

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

**REATIVIDADE DE ESCÓRIAS E WOLLASTONITA AVALIADAS ATRAVÉS DE
MÉTODO BIOLÓGICO.**

**Uberlândia – MG
Junho – 2007**

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

**REATIVIDADE DE ESCÓRIAS E WOLLASTONITA AVALIADAS 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
Junho – 2007**

ROBSON THIAGO XAVIER DE SOUSA

**REATIVIDADE DE ESCÓRIAS, CARBONATO DE CÁLCIO E WOLLASTONITA
AVALIADOS 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 18 de Junho de 2007

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Membro da Banca

Ms. Lucélia Alves Ramos
Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Pedro Humberto de Sousa e Neiry Any Xavier de Sousa, aos meus irmãos Deny Rodrigo Xavier de Sousa e Luara Thatianna Xavier de Sousa e a todos aqueles que de uma forma ou de outra fazem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que Ele tem me proporcionado, pelo fato de conduzir minha vida, de guiar meus passos. Aos meus familiares e irmãos na fé que sempre me apoiaram e acreditaram na minha vitória, pelo carinho, atenção e amizade proporcionada em diversos momentos.

A todos os amigos da 36ª Turma de Agronomia em especial a Eudes Aparecido Caetano Moura e Ralph Barbosa Rodrigues Alves pelo fato de estarem sempre ao meu lado desde o início de minha vida acadêmica, e por nunca medirem esforços em colaborarem para meu crescimento como profissional e pessoa.

A todos do Núcleo de Solos, principalmente a laboratorista Carla Cristina Costa e a secretária Valéria Moreira Custódio Santos e aos amigos de sala, companheiros de estágio: Ana Paula dos Santos, Douglas da Silva Santos, Juliana Kahlau e Valter Antônio da Silva, agradeço também a todos demais estagiários do LAFER.

Aos meus amigos Giordhane Bruno Carpaneda Gimenes e Wilian Araújo Santos, com quem sempre contei e sempre poderei contar, verdadeiros amigos.

As minhas amigas Dalcimar Regina Batista Wangen, que sempre esteve disponível para ajudar-me sempre que solicitada e Lucélia Alves Ramos, membro da Banca Examinadora.

Ao Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues, membro da Banca Examinadora, pela valiosa colaboração na fase final do experimento, pela orientação e colaboração em meu crescimento acadêmico.

À empresa HOLCIM que possibilitou a execução deste trabalho.

Em especial ao meu orientador Gaspar Henrique Korndörfer, que confiou em mim, acreditou em meu trabalho, pela orientação, ajuda, amizade e experiências compartilhadas durante todos esses anos.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
2.1 Importância do silício para a cultura do arroz.....	08
2.2 Efeito dos silicatos como corretivos de acidez.....	11
2.3 Escórias siderúrgicas.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÕES.....	25
REFERÊNCIAS.....	26

1 INTRODUÇÃO

A importância do silício para a cultura do arroz já foi demonstrada por vários estudos (PEREIRA et al., 2004; CARVALHO-PUPATTO, 2003; BERNI; PRABHU, 2003). Em solos altamente intemperizados, com baixa disponibilidade de silício, como a maioria dos solos tropicais, a aplicação de fontes silicatadas como fertilizantes e corretivos pode ser de suma importância para repor e aumentar a disponibilidade desse elemento para o solo, trazendo inúmeros benefícios para as plantas.

A maioria dos solos contém silício, porém o elemento pode estar numa forma não disponível para as plantas, a ponto de ser necessária uma fertilização silicatada suplementar para obter-se a produção máxima. Poucas são as informações com relação às melhores fontes de silício para uso na agricultura, sendo que alguns produtos já vêm sendo comercializados como fontes desse elemento, dentre esses estão os agregados siderúrgicos (escórias). Os mesmos são produtos abundantes e baratos provenientes da extração do ferro e do aço, originários do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400°C, da reação do calcário (calcítico ou dolomítico) com a sílica (SiO_2) presente no minério de ferro. A alta concentração de silicatos de Ca e Mg nas escórias possibilitam sua utilização como corretivos de acidez do solo e como fontes de Ca e Mg para as plantas, especialmente para solos arenosos com baixos teores de cátions. O aproveitamento desses materiais como fontes de Si e corretivos de solo são desejáveis, pois se de um lado reduz o passível ambiental e as áreas de depósitos das indústrias, de outro fornece Si às culturas (PRADO; FERNANDES, 2000).

São necessários critérios para escolher as melhores fontes de silício, as quais devem apresentar altos teores de Si solúvel, alta reatividade, baixo custo, altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), além de baixos teores de metais pesados, em especial para os agregados siderúrgicos. No Japão, os produtos mais utilizados como fontes de silício para a cultura do arroz são os resíduos das usinas do aço; nos Estados Unidos, usam-se os resíduos da fabricação de fósforo elementar. No Brasil, é necessário identificar os produtos com maior potencial visando aumentar a qualidade e produtividade das culturas.

Em busca de novos subsídios a respeito do uso do silício na agricultura, objetivou-se avaliar o desempenho de diferentes fontes de Si (escórias silicatadas) na disponibilidade e eficiência no fornecimento de silício e o efeito de doses crescentes de wollastonita sobre o crescimento e produção do arroz.

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 silício tem sido demonstrado como nutriente benéfico para o arroz, 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 silício; a lixiviação; a adsorção em óxidos e os hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999). A solubilidade destes materiais silicatados depende da temperatura, pH, tamanho da partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura (RAIJ; CAMARGO, 1973).

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 baixa disponibilidade nos

solos para as plantas, tais como: (a) muitos solos de áreas produtoras de arroz de regiões tropicais e subtropicais apresentam graus variados de dessilificação; (b) a cinética de dissolução do Si no solo é muito baixa, e (c) o Si da solução do solo é adsorvido por sesquióxidos que estão presentes em muitos solos tropicais (SAVANT et al., 1997).

O Si, depois do O₂, 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).

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 (SiO₂) 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 (SiO₂.nH₂O) 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 (SiO₂nH₂O). 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.

Ma et al. (2001) citam que as plantas consomem diferentes quantidades de silício, 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 Raj (1991), as gramíneas absorvem o silício da solução do solo 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 evitam a absorção de quantidades elevadas desse nutriente. Daí as gramíneas apresentarem teores de silício que podem chegar a ser de 10 a 20 vezes maiores do que nas dicotiledôneas.

O uso do Si tem promovido melhoria na arquitetura da planta e aumento na fotossíntese (DEREN et al., 1994), resultado da menor abertura do ângulo foliar, que torna as folhas mais eretas, diminuindo o auto-sombreamento, sobretudo em condições de altas densidades populacionais e altas doses de N (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989). Além disso, promove o aumento da resistência da planta à incidência de doenças fúngicas, por ser tal elemento depositado na folha, nos tecidos da epiderme logo abaixo da

cutícula, precisamente nas paredes celulares mais externas (AGARIE et al., 1998), conferindo-lhe resistência mecânica à penetração das hifas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

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; CARVALHO, 2000); porém, quanto à produtividade de grãos, a aplicação do elemento tem proporcionado resultados divergentes, ou seja, há relatos de incremento (DEREN et al., 1994; LIANG, 1994; BARBOSA FILHO et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999; FARIA, 2000) e 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 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. Assim, a elevação nos teores do elemento no solo para valores considerados adequados passa a ser importante, uma vez que não se conhece a exigência dos cultivares de arroz em relação ao Si, tampouco o fato de os rizicultores utilizarem em suas áreas, em média, três materiais genéticos, sendo, pelo menos um, trocado a cada duas a três safras.

De acordo com Ma e Takahashi (2002), dentre as múltiplas funções do silício em benefício às plantas, citam-se, o seu papel na solução do solo, complexando o alumínio a Al-Si, reduzindo, assim, a toxidez desse elemento para as mesmas. Nas raízes, o silício polimeriza-se em sílica, a qual age reduzindo a captação de manganês pelas plantas, aliviando, dessa maneira, estresses causados por esse elemento, além de melhorar 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 do mesmo e previne o acamamento.

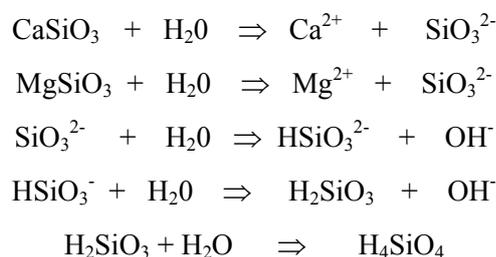
Em estudos na cultura do arroz, Berni e Prabhu (2003), verificando a eficiência de fontes de silício, na redução da severidade de brusone nas folhas da cultivar de Metica-I em área de várzea, constataram-se que houve diminuição da variável estudada com o aumento das doses de Si.

Inicialmente, os estudos com silício eram voltados mais para gramíneas, por estas serem acumuladoras do elemento e desenvolverem uma barreira física, impedindo a penetração de patógenos. No entanto, novas teorias sobre indução de resistência levaram alguns pesquisadores a estudar o silício em não acumuladoras como as 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).

2.2 Efeito dos silicatos como corretivos de acidez

Os corretivos de acidez do solo são produtos capazes de neutralizar a acidez e ainda levar nutrientes essenciais às plantas, principalmente cálcio e magnésio. 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 silício. Esses materiais são constituídos por CaSiO_3 e MgSiO_3 , e assim como no calcário, sua reatividade varia segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e com o tempo de contato da escória com o solo. O mecanismo de correção da acidez pela escória resulta na formação de ácido monossilícico (H_4SiO_4), que 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), realizando estudo 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.

O poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, por apresentarem maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade (NOLLA, 2004).

2.3 Escórias siderúrgicas

O aproveitamento agrícola de resíduos industriais como a escória de siderurgia é pouco utilizado no Brasil, apesar da grande quantidade disponível, aproximadamente 3 milhões de toneladas anualmente. Em várias partes do mundo, porém, o uso de escórias para fornecer silício para as plantas é estudado e utilizado (PRADO; FERNANDES, 2001).

Escórias são resíduos da indústria da fundição do aço e do ferro-gusa. A escória de alto-forno é o resíduo do processo siderúrgico que tem como primeira etapa a obtenção do ferro bruto e impuro — ferro-gusa — por meio da redução do minério de ferro, enquanto a escória de aciaria é obtida no processo de produção do aço pela utilização do ferro-gusa, processo que exige menor grau de impureza. Na sua composição encontram-se diversos óxidos de Ca, Mg, Si, Fe e Mn, cujas quantidades e concentrações são decorrentes da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário ou cal) utilizada no processo de fabricação do produto, além do tipo de refratário usado na parede do forno (PRADO et al., 2001). O teor de Si total das escórias no Brasil varia conforme o tipo, sendo que a escória proveniente de aciaria apresenta entre 12 a 22 dag kg⁻¹ de Si, enquanto a escória de alto-forno, entre 36 a 42 dag kg⁻¹ de Si (PIAU, 1995).

Estudos com escórias aplicadas ao solo têm demonstrado aumento de pH e redução do H⁺Al (PRADO; FERNANDES, 2000, 2003), em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o SiO₃⁻² (ALCARDE, 1992), incrementos na disponibilidade de P (PRADO et al., 2002), Ca, Mg (PRADO; FERNANDES, 2000, 2003) e Si no solo (ANDERSON et al., 1987; WINSLOW, 1992), o que, para culturas acumuladoras de Si como o arroz e a cana-de-açúcar, tem refletido em tolerância a doenças e aumentos de produtividade (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995). O aumento nos teores de Ca e Mg no solo em razão da utilização da escória podem apresentar efeito positivo no desenvolvimento de raízes, especialmente em relação ao Ca, uma vez que são bem conhecidos os efeitos positivos deste nutriente no crescimento radicular (CAIRES et al., 2001).

Para avaliar o potencial da escória de siderurgia, comparando-a ao calcário, para ser aplicados em plantas forrageiras, há necessidade de acompanhar os efeitos na nutrição da planta, uma vez que os materiais corretivos podem afetar a fertilidade do solo, a disponibilidade dos elementos, e conseqüentemente, a absorção e translocação dos nutrientes (SANCHES, 2003).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC) com 3 repetições, utilizando como solo o Neossolo Quartzarênico Órtico típico, o qual apresenta baixo teor de Si “disponível”, os atributos químicos e físicos do solo usado no experimento estão expostos na Tabela 1 e a análise física na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química da amostra de terra do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

pH	P meh^{-1}	Si	Al³⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
	---mg dm^{-3} ---		-----	mmol _c dm^{-3}	-----	-----			---- % -----		g kg^{-1}
5,0	5,3	2,2	6	3	1	5	11	43	11	57	17

P_{meh-1} e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO 4 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 física da amostra de terra do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- g. kg^{-1} -----			
650	230	0	120

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

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 e 800 Kg ha⁻¹ de silício e para avaliar a reatividade de fontes de Si, foram utilizadas cinco escórias siderúrgicas, fornecidas pela empresa HOLCIM, as quais foram secas e peneiradas, passando por uma malha de 0,3 mm (ABNT n° 50), nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de silício. As doses dos materiais foram definidas em função da capacidade de fornecimento de silício pelas fontes, sendo caracterizadas quanto aos teores de silício total e solúvel (KORNDÖRFER et al., 2004), CaO e MgO (EMBRAPA,1999), conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3. Análise de silício, CaO e MgO das escórias.

Escórias	Tipo de Material	Si	Si	CaO	MgO
		TOTAL*	Solúvel**		
		%	%	%	%
01	Pó	14,3	0,58	6,61	5,10
02	Pó	18,4	0,69	39,25	5,47
03	Pó	17,9	0,70	42,06	28,93
04	Pó	30,3	0,42	33,64	10,69
05	Pó	20,7	0,36	25,23	7,4

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 todos os vasos receberam quantidades iguais de cálcio e magnésio. Assim sendo foram adicionados CaCO_3 e MgCO_3 nas quantidades informadas na Tabela 4, 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.

Tabela 4. Doses de silício, escórias, CaCO_3 e de MgO aplicados em cada tratamento.

Tratamento	Dose de Si	Si	Doses do produto	Doses do produto	Dose de CaCO_3	Dose de MgO
		total em cada produto				
		kg/ha	%	kg/ha	-----g/10 kg de solo-----	
Testemunha	0	---	0	0	19,04	3,23
Wollastonita	200	21	952	4,76	15,43	3,16
Wollastonita	400	21	1904	9,52	11,83	3,09
Wollastonita	800	21	3809	19,05	4,61	2,95
escória #1	200	14,3	1399	6,99	18,21	2,88
escória #1	400	14,3	2797	13,99	17,39	2,52
escória #2	200	18,4	1087	5,43	15,23	2,94
escória #2	400	18,4	2174	10,87	11,42	2,64
escória #3	200	17,9	1117	5,59	14,84	1,62
escória #3	400	17,9	2235	11,17	10,64	0
escória #4	200	30,3	660	3,30	17,05	2,88
escória #4	400	30,3	1320	6,60	15,07	2,53
escória #5	200	20,7	966	4,83	16,86	2,87
escória #5	400	20,7	1932	9,66	14,68	2,52

Cada parcela experimental consistiu de 10 kg de amostra de terra fina seca ao ar acondicionado em vasos plásticos. A amostra de TFSA foi umedecida com água destilada até próximo a 70 % do volume total de poros para que ocorressem a reatividade dos produtos. A quantidade de água, inicialmente aplicada ao solo de cada vaso, foi de 1600 ml. O solo foi incubado por 20 dias e no dia 07 de junho de 2006, semeou-se o arroz cultivar Fanny, a qual é uma cultivar antiga utilizada como padrão de suscetibilidade à brusone, possui porte baixo, ciclo curto, grãos curtos, baixo vigor de planta, folhas pilosas, baixa produtividade. Depois de formada a terceira folha, os vasos foram inundados com uma lâmina de água de aproximadamente 4 cm quando então se realizou o desbaste, deixando-se 8 plantas por vaso.

As plantas de arroz foram colhidas no dia 27 de outubro de 2006, separando-se as panículas do restante da planta. Após a coleta, as plantas foram secas em estufa, à 65° C, até peso constante para obtenção da massa seca. As panículas foram coletadas, pesadas e, posteriormente, os grãos foram separados e pesados. A biomassa foi avaliada quanto à produção de matéria seca, massa verde, produção de grãos/vaso e massa de panículas por vaso.

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 concentração foliar de Si. Os solos dos vasos, após o corte da matéria fresca, foram amostrados e analisados quanto ao teor de Si solúveis (KORNDÖRFER, et al. 2004), pH em CaCl₂, Ca²⁺ e Mg²⁺ (EMBRAPA 1999).

Com relação à estatística aplicada, primeiramente foi feita a análise do desempenho das escórias, utilizando um esquema fatorial 6x2 + 1, sendo as cinco escórias, a wollastonita e duas doses de cada corretivo (200 e 400 kg ha⁻¹) mais um tratamento adicional sem aplicação de corretivo (testemunha).

Os dados coletados, tanto do solo quanto da planta, foram submetidos à análise de variância, contrastes para comparação com o tratamento adicional e teste de média (Scott Knott a 1% e 5%) para comparação entre os corretivos com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000). Com base nos valores de estimativa de contraste, foi determinado o valor de eficiência das escórias no fornecimento de Si para as plantas (EFSi - %) (Equação 1), e a eficiência das escórias no aumento da disponibilidade de Si no solo (EDSi - %), segundo demonstrado na equação 2.

Equação 1. $EFSi = [(\bar{A}SiEi..j - \bar{A}SiT) / \bar{A}SiW - \bar{A}SiT] \times 100$ onde,

$EFSi$ – Eficiência no fornecimento de Si para as plantas;

$\bar{A}SiEi..j$ – Acúmulo médio de Si na parte aérea do arroz no tratamento com a aplicação das doses de escória de interesse;

$\bar{A}SiT$ - Acúmulo médio de Si na parte aérea do arroz no tratamento testemunha

$\bar{A}SiW$ - Acúmulo médio de Si na parte aérea do arroz no tratamento com aplicação das doses de Wollastonita

Equação 2. $EDSi = [(\bar{E}SiEi..j - \bar{E}SiT) / \bar{E}SiW - \bar{E}SiT] \times 100$ onde,

$EDSi$ – Eficiência no aumento da disponibilidade de Si no solo;

$\bar{E}SiEi..j$ – Teor médio de Si no solo no tratamento com a aplicação das doses de escória de interesse (i a j);

$\bar{E}SiT$ - Teor médio de Si no solo do tratamento testemunha

$\bar{E}SiW$ - Teor médio de Si no solo do tratamento com aplicação das doses de Wollastonita

Para verificar o comportamento da wollastonita, os dados coletados, tanto do solo quanto da planta, foram submetidos à análise de regressão em função das doses utilizadas com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fontes de variação, dose de silício, fonte e a interação entre essas não proporcionaram alteração significativa nas variáveis de crescimento, matéria fresca (MFPA) e seca (MSPA) de parte aérea das plantas e de produção, massa de grãos e de panícula (Tabela 6). Como verificado em trabalhos na literatura, a wollastonita 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).

No entanto, as doses e fonte proporcionaram alteração significativa, pelo teste de F, para os teores foliares e acúmulo de Si na parte aérea do arroz (Tabela 6). Como esperado, a Wollastonita foi a que proporcionou os maiores valores para teores e acúmulo de Si na parte aérea, porém não houve diferença estatística entre a mesma e as escórias 2 e 3 .

A Tabela 7 apresenta a correlação entre as fontes de silício e o tratamento testemunha, sem aplicação de fonte de Si. Para os dados de produção e crescimento das plantas observa-se que somente o tratamento com aplicação da wollastonita apresentou incremento significativo em relação à testemunha sem aplicação Si. Esses resultados estão de acordo com os relatos de Tanaka e Park (1966), Liang et al. (1994) e Carvalho (2000), que também não encontraram diferença estatística trabalhando com escórias, o que permite inferir que o teor original do solo foi suficiente para o desenvolvimento adequado das plantas de arroz da cultivar Fanny. Outra hipótese pode ser a defendida por Ramos (2005), que afirma que a falta de resposta para a aplicação de Si sobre a produção a massa de panículas, produção de matéria seca e produção de grãos, se deve ao fato do experimento ter sido conduzido em casa-de-vegetação, onde não existe nenhum tipo de estresse para a planta. Para o teor e acúmulo de Si na folha somente o uso da escória quatro (E4) não proporcionou incremento dos valores (Tabela 7).

Com relação à produção de grãos, os resultados obtidos discordam dos encontrados por Faria (2000), Korndörfer et al. (1999), Deren et al. (1994) e Liang et al. (1994); entretanto, estão de acordo com os de Carvalho (2000) e Mauad et al. (2003), que trabalhando com o cultivar IAC-202 não obtiveram aumentos significativos. Portanto, cabe lembrar que os genótipos de arroz diferem bastante quanto à sua capacidade de absorver Si (WINSLOW, 1992; BARBOSA FILHO et al., 1998).

Tabela 6. Efeito de diferentes escórias e wollastonita sobre crescimento, produção e absorção e acúmulo de Si pelo arroz.

Dose (kg ha ⁻¹)	Escórias						Wollastonita	Média
	E1	E2	E3	E4	E5			
Massa Fresca Parte Aérea – MFPA (g vaso⁻¹)								
200	191,0 ¹	188,5	217,5	214,8	205,0	226,5	207,2	
400	192,9	223,9	188,5	199,9	188,8	221,6	202,6	
Média	192,0	206,2	203,0	207,4	196,9	223,8		
CV(%) = 11,91	F _{FONTE(F)} = 1,212 ^{ns}		F _{DOSE(D)} = 0,314 ^{ns}		F _{F*D} = 1,246 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,727 ^{ns}	
Massa Seca Parte Aérea – MSPA (g vaso⁻¹)								
200	49,94	47,12	52,22	49,26	50,61	54,20	50,55	
400	52,15	53,21	55,68	51,80	51,25	57,70	53,63	
Média	51,04	50,16	53,95	50,52	50,92	55,95		
CV(%) = 11,74	F _{FONTE(F)} = 1,348 ^{ns}		F _{DOSE(D)} = 1,244 ^{ns}		F _{F*D} = 0,243 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,727 ^{ns}	
Massa Grãos – MG (g vaso⁻¹)								
200	36,70	31,44	41,34	32,21	44,78	39,96	37,74	
400	35,90	39,72	39,35	36,73	36,73	56,83	40,88	
Média	36,29	35,59	40,34	34,47	40,76	43,40		
CV(%) = 25,75	F _{FONTE(F)} = 1,546 ^{ns}		F _{DOSE(D)} = 0,863 ^{ns}		F _{F*D} = 1,1240 ^{ns}		F _{BLOCO} = 11,99**	
Massa Panícula – MP (g vaso⁻¹)								
200	56,31	49,12	62,89	48,61	67,47	61,43	57,65	
400	54,78	62,60	58,43	57,93	57,47	83,05	62,39	
Média	55,54	55,86	60,66	53,30	62,50	72,24		
CV(%) = 21,99	F _{FONTE(F)} = 1,643 ^{ns}		F _{DOSE(D)} = 1,161 ^{ns}		F _{F*D} = 1,2420 ^{ns}		F _{BLOCO} = 7,63**	
Teor Si folha – TSi(g kg⁻¹)								
200	18	20	19	14	18	21	18 b	
400	22	27	27	15	22	28	24 a	
Média	20 B	24 A	23 A	14 C	20 B	24 A		
CV(%) = 12,12	F _{FONTE(F)} = 13,5**		F _{DOSE(D)} = 39,47**		F _{F*D} = 1,577 ^{ns}		F _{BLOCO} = 5,930**	
Si Acumulado – ASi (g vaso⁻¹)								
200	0,90	0,96	1,09	0,67	0,90	1,13	0,94 b	
400	1,15	1,43	1,51	0,76	1,12	1,62	1,26 a	
Média	1,02 B	1,20 A	1,30 A	0,71 C	1,00 C	1,37 A		
CV(%) = 11,80	F _{FONTE(F)} = 20,4**		F _{DOSE(D)} = 55,09**		F _{F*D} = 2,433 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,3970 ^{ns}	

¹Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Observa-se na Tabela 8 que a escória 3 apresentou maior eficiência no fornecimento de Si para as plantas, não diferenciando estatisticamente da Wollastonita e a escória 2 foi a que apresentou o pior desempenho em fornecer silício para as plantas de arroz .

Tabela 7. Estimativa de Contrastes para os índices de produção, crescimento, teores foliares e acúmulo na parte aérea de Si entre os tratamentos com aplicação das fontes de Si menos o tratamento sem aplicação de Si (Testemunha).

Contrates	MFPA	MSPA	MP	MG	TSi	ASi
Fontes de Si vs. Testemunha	24,70ns	7,8ns	10,37ns	7,29ns	0,08**	0,54**
Wollastonita vs. Testemunha	43,64*	11,21*	22,58*	16,37*	0,12**	0,81**
E5 vs. Testemunha	16,67ns	6,19ns	12,85ns	8,73ns	0,07**	0,45**
E4 vs. Testemunha	27,20ns	5,80ns	-3,64ns	2,45ns	0,02ns	0,15 ^{ns}
E3 vs. Testemunha	22,83ns	11,90*	11,01ns	8,32ns	0,10**	0,74**
E2 vs. Testemunha	26,00ns	5,43ns	6,21ns	3,56ns	0,11**	0,64**
E1 vs. Testemunha	11,78ns	6,31ns	5,90ns	4,28ns	0,08**	0,46**

^{ns}, * e ** Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente.

Tabela 8. Eficiência das escórias no fornecimento de Si para as plantas (EFSi).

Fonte	Wollastonita	E1	E2	E3	E4	E5
EFSi (%)	100 a ¹	55,5 c	18,5 d	91,4 a	79,0 b	56,8 c

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não distinguem entre si (Scott Knott 5%)

Para as características químicas do solo avaliadas, observa-se o pH e os teores trocáveis de Mg no solo apresentaram variação significativa somente com as fontes utilizadas, as doses não variaram porque foi realizado o balanceamento do experimento, o que já era esperado. Os teores de Si trocável no solo apresentou alteração com as fontes e doses. Os teores trocáveis de Ca no solo não apresentaram alteração significativa com as fontes de variação estudadas. Para os teores de Si trocável no solo, independentemente da fonte a dose de 400 kg ha⁻¹ proporcionou os maiores valores e independente da dose a escória 3 e a wollastonita, que não diferiram entre si, apresentaram os maiores valores em relação às demais escórias (Tabela 9).

Para os valores de Mg trocável no solo, mesmo a dose desse nutriente sendo balanceada entre todos os tratamentos, após o cultivo do arroz com aplicação da escória 3 foram observados os menores valores. Isso nos leva a acreditar que a quantidade de MgO que a fonte apresenta não está toda disponível para ser liberada para o solo (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito de diferentes escórias e wollastonita sobre os teores de Si, Ca e Mg trocáveis e pH do solo.

Dose (kg ha ⁻¹)	Escórias					Wollastonita	Média
	E1	E2	E3	E4	E5		
Si solo (mg kg⁻¹)							
200	1,03	1,06	1,10	1,00	1,00	1,27	1,07 b
400	1,03	1,23	1,70	1,10	1,23	1,50	1,30 a
Média	1,03 B	1,15 B	1,40 A	1,05 B	1,12 B	1,38 A	
CV(%) = 16,33	F _{FONTES(F)} = 4,22**		F _{DOSE(D)} = 11,78**		F _{F*D} = 1,6704 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,1400 ^{ns}
Ca solo (cmol_c dm⁻³)							
200	3,81	3,70	3,45	3,80	3,60	3,91	3,71
400	4,07	3,53	3,15	3,58	3,50	3,47	3,55
Média	3,94	3,61	3,30	3,70	3,55	3,70	
CV(%) = 10,85	F _{FONTES(F)} = 1,674 ^{ns}		F _{DOSE(D)} = 1,494 ^{ns}		F _{F*D} = 0,549 ^{ns}		F _{BLOCO} = 2,090 ^{ns}
Mg solo (cmol_c dm⁻³)							
200	0,53 ¹	0,55	0,24	0,60	0,56	0,59	0,51
400	0,57	0,65	0,07	0,52	0,57	0,53	0,48
Média	0,55 A	0,60 A	0,16 B	0,56 A	0,56 A	0,56 A	
CV(%) = 23,95	F _{FONTES(F)} = 11,8**		F _{DOSE(D)} = 0,527 ^{ns}		F _{F*D} = 0,974 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,741 ^{ns}
pH							
200	6,16	5,51	5,51	5,30	5,37	5,70	5,58
400	6,45	5,36	5,54	5,23	5,39	5,45	5,56
Média	6,30 A	5,43 B	5,52 B	5,26 C	5,37 C	5,56 B	
CV(%) = 2,87	F _{FONTES(F)} = 32,3**		F _{DOSE(D)} = 0,7495 ^{ns}		F _{F*D} = 0,1311 ^{ns}		F _{BLOCO} = 0,1475 ^{ns}

¹Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Com relação aos valores de pH do solo, observa-se que a escória 1 apresentou os maiores valores, ou seja, essa fonte possui alta eficiência como corretivo, no entanto baixa eficiência como fonte de Si para as plantas, com eficiência no fornecimento de Si para as plantas (EFSi) de 56,8% em relação à wollastonita, como verificado na Tabela 8.

Na Tabela 10 contém os dados de estimativa do contraste visando comparar o efeito dos tratamentos com aplicação das fontes de Si com a testemunha sem aplicação de fonte de Si sobre algumas características dos solos avaliadas. De maneira geral, observa-se que após o cultivo do arroz com a aplicação das fontes de Si foi observado aumento na disponibilidade desse nutriente no solo e redução dos teores trocáveis de Ca e Mg e pH do solo. As escórias 5, 3 e 2 apresentaram redução nos teores de Ca trocável do solo e a escória 3 redução nos teores de Mg trocável no solo em relação à testemunha após o cultivo das plantas (Tabela 10). Como relatado acima a escória 3 apresentou alta eficiência no fornecimento de Si (Tabela 8), no entanto apresentou redução nos teores de Mg trocável no solo em relação às demais fontes (Tabela 9), já que as plantas não diferiram em produção e com isso provavelmente podem não ter diferido em relação ao acúmulo de Mg. Para melhor explicar e discutir esses resultados

seria necessário a realização das análises química dos tecidos das plantas para avaliar o teor e acúmulo de Mg pelas plantas e análise de adsorção e dessorção de Mg com a aplicação dessa fonte.

Tabela 10. Estimativa de Contrastes para os teores trocáveis de Si, Ca e Mg e pH do solo entre os tratamentos com aplicação das fontes de Si vs. o tratamento sem aplicação de Si (Testemunha).

Contrates	Ca	Mg	Si	pH
Fontes de Si vs. Testemunha	-0,54*	-0,21**	0,28*	-0,26**
Wollastonita vs. Testemunha	-0,48 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,48**	-0,28*
E5 vs. Testemunha	-0,62**	-0,15 ^{ns}	0,22 ^{ns}	-0,46*
E4 vs. Testemunha	0,48 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,58*
E3 vs. Testemunha	-0,88**	-0,55**	0,50**	-0,31**
E2 vs. Testemunha	-0,56*	-0,11 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,41**
E1 vs. Testemunha	-0,24 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,46**

** e * Significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente.

Em relação ao pH, com exceção da escória 1, após o cultivo do arroz todas apresentaram valores inferiores ao observado no tratamento testemunha (Tabela 10). Esse efeito pode ser atribuído ao efeito de acidificação da rizosfera pelas raízes do arroz. Como o experimento foi realizado em vasos e nesse sistema de cultivo as raízes das plantas exploram um pequeno volume de solo o efeito de acidificação da rizosfera é observado com mais facilidade.

Para os valores de Si, observa-se que somente a wollastonita e a escória 3 apresentou aumentos significativos nos teores trocáveis de Si no solo em relação ao tratamento testemunha. Esse resultado confirma que a escória 3 apresenta alta eficiência no fornecimento de Si para as plantas pois aumenta a disponibilidade desse nutriente no solo em amplitude semelhante ao observado para a wollastonita como observado na Tabela 9.

Observa-se na Tabela 11, confirmado o que já foi observado na Tabela 8, que a escória 3 apresentou alta eficiência no aumento da disponibilidade de Si no solo, não diferindo estatisticamente da eficiência da wollastonita (100%).

Tabela 11. Eficiência das escórias no aumento da disponibilidade de Si no solo (EDSi).

Fonte	Wollastonita	E1	E2	E3	E4	E5
EDSi (%)	100 a ¹	45,8 b	33,3 c	104,2 a	52,1 b	27,1 c

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não distinguem entre si (Scott Knott 5%)

Na Figura 1 observa-se de maneira geral, que com a aplicação das doses de wollastonita foi observada influência sobre a produção das plantas.

Observa-se, que as doses de wollastonita proporcionaram ajuste quadrático para os dados de massa de panícula (MP) e de grãos (MG), com as máximas produções (80,4 e 51,8 g vaso⁻¹, respectivamente) obtidas com a aplicação de 2.358 e 2.090 t ha⁻¹ de wollastonita, respectivamente. A resposta, em produção, do arroz com a aplicação da wollastonita, que é fonte de Si, pode ser atribuída justamente ao fornecimento desse nutriente para o arroz, que segundo Malavolta et al. (1997), Marschner (1995), e Epstein; Bloom (2006) é uma considerada planta acumuladora de Si e que responde em aumento de crescimento e produção com a aplicação desse nutriente. Essa afirmativa pode ser justificada pelos resultados de teores e acúmulo de Si na parte aérea das plantas de arroz quando adubadas com a wollastonita (Figura 2). Observa-se que há ajuste linear crescente dos teores e acúmulo de Si na parte aérea das plantas com as doses de wollastonita, confirmando assim, o efeito desse Si como nutriente no aumento da produção do arroz (Figura 2). A aplicação de doses crescentes de wollastonita não proporcionou aumento na produção de massa seca e fresca das plantas de arroz (Figura 3).

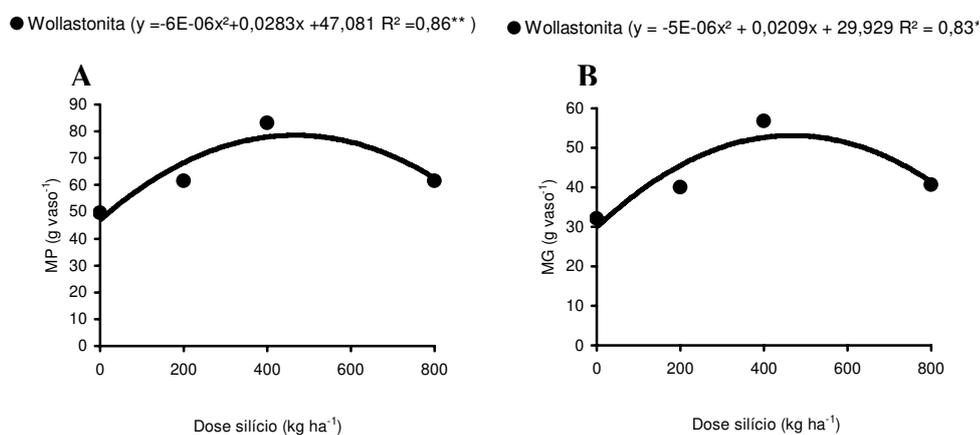


Figura 1. Efeito de doses de wollastonita sobre a massa de panícula (MP) (A) e massa de grãos (MG) (B).

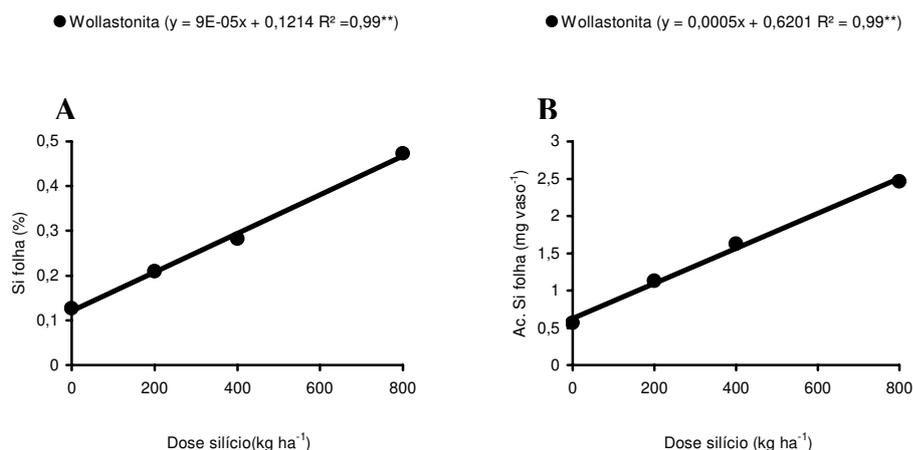


Figura 2. Efeito de doses de wollastonita sobre os teores (A) e acúmulo de Si (B) na parte aérea das plantas de arroz.

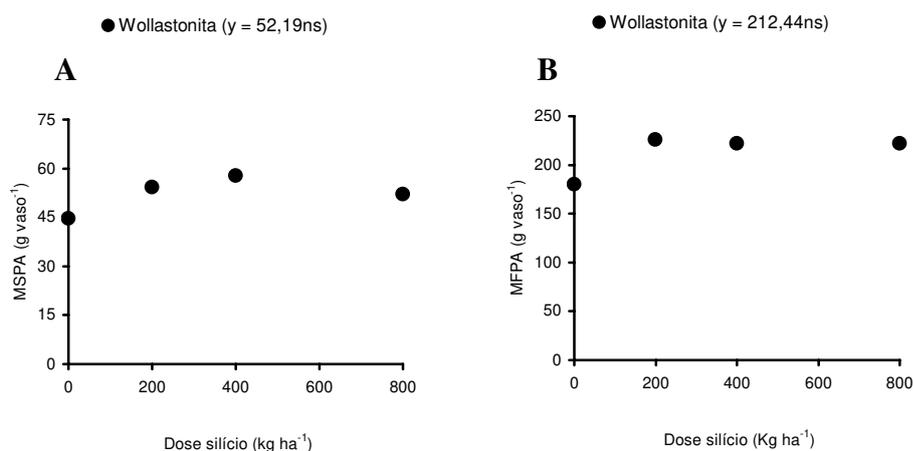


Figura 3. Efeito de doses de wollastonita sobre a matéria seca da parte aérea (MSPA) (A) e matéria fresca da parte aérea (MFPA) (B).

As Figuras 4 A, B, C e D apresentam os valores de pH, Si, Ca e Mg trocáveis no solo após o cultivo do arroz com doses wollastonita. Observa-se na Figura 2 B que após o cultivo das plantas foi observado efeito das doses de wollastonita sobre os teores de Si trocável no solo, o que não foi observado nas demais variáveis (pH, Ca e Mg). No caso do solo que recebeu adubação com a wollastonita, se o mesmo fosse cultivado após o corte das plantas de arroz, a adubação silicatada poderia ser diminuída, pois mesmo após o cultivo do arroz foram observados altos teores desse nutriente no solo.

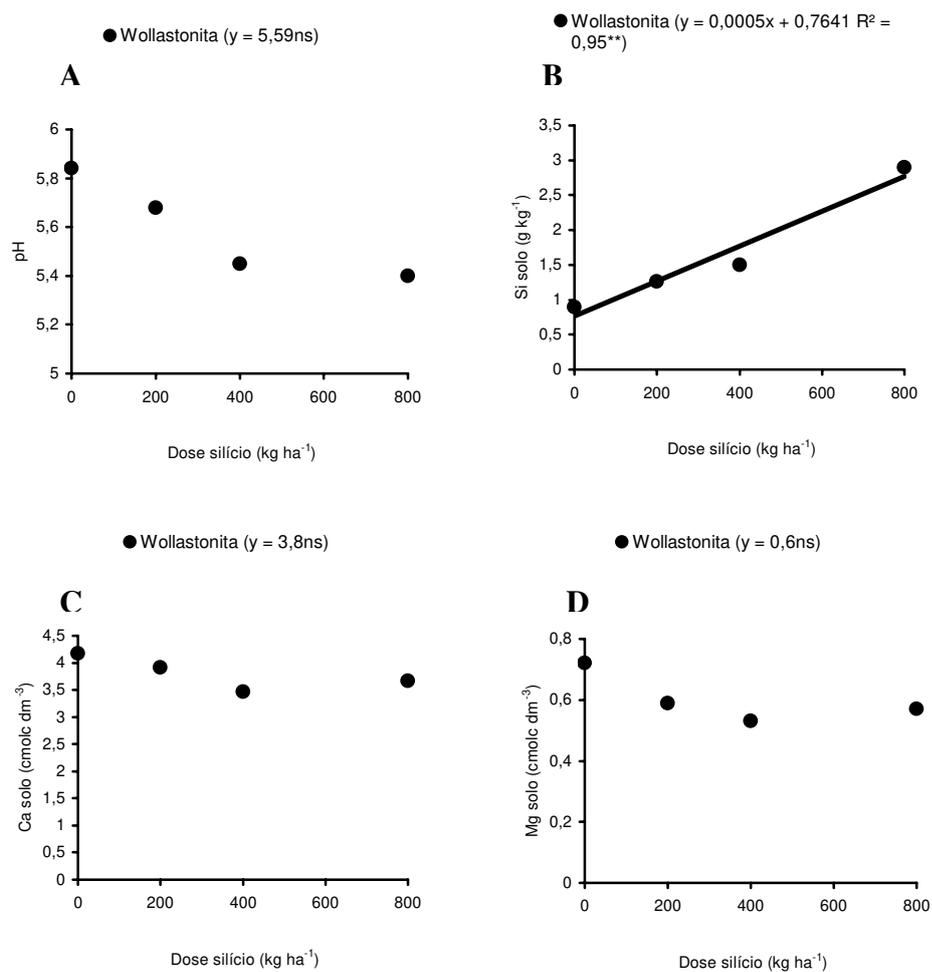


Figura 4. Efeito de doses de wollastonita sobre os valores de pH e teores trocáveis de Si, Ca e Mg no solo após o cultivo do arroz.

5 CONCLUSÕES

A escória 3 possui eficiência no aumento da disponibilidade de silício no solo e conseqüentemente eficiência no fornecimento de silício para as plantas semelhante ao da wollastonita e as demais escórias apresentam baixa eficiência.

A aplicação de doses crescentes de wollastonita em ambiente controlado não influenciou no crescimento do arroz, mas pode proporcionar aumentos significativos de produção, por ser esse elemento essencial para a cultura do arroz.

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. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico, 6).
- ANDERSON, D.L.; JONES, D.B.; SNYDER, G.H. Response of a rice-surgarcane rotation to calcium silicate slag on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.531-535, 1987.
- 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.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.1029-1040, 2001.
- 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**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista 2000. 119p. (Tese de Mestrado).
- 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.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

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**. Lavras, Universidade Federal de Lavras 2000. 47p. (Tese de Mestrado).

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.; DATNOFF, L.E. **Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz**. Piracicaba: POTAFOS, p.1-3,1995 (Encarte técnico. Informações Agrônomicas, nº 70).

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.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1999. 7p (Encarte técnico. Informações Agrônomicas, nº 87).

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

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**, 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.

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.

MAUAD, M.; FILHO, H. G.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.867-873, 2003.

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.

PIAU, W.C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (Zea mays L.)**. 1995. 124p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

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**, Lavras, v.2, p.373-402, 2004.

PRADO, R. de M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v.37, p.539-546, 2002.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, p.739-744, 2000.

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.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba - Associação Brasileira Para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Editora Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1991. p. 238-243. 343 p.

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

RAMOS, L.A. **Reatividade de fontes de silício e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia. 2005. 63p. (Tese de mestrado).

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.

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.

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.

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.; 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.