

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

LEONARDO SILVA ARAUJO

**USO DA “ESCÓRIA TRANSFORMADA” COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO
SOLO E FONTE DE SILÍCIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO**

**Uberlândia - MG
Dezembro – 2007**

LEONARDO SILVA ARAUJO

USO DA “ESCÓRIA TRANSFORMADA” COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE SILÍCIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO

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
Dezembro – 2007**

LEONARDO SILVA ARAUJO

USO DA “ESCÓRIA TRANSFORMADA” COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO E FONTE DE SILÍCIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO

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 08 de dezembro de 2007

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

Eng^a Agr. M.Sc. Lucélia Alves Ramos
Membro da Banca

Eng^o Agr. M.Sc. Guilherme Bossi Buck
Membro da Banca

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pessoas de caráter inquestionável, que desde os meus primeiros passos já me orientavam a percorrer o caminho do bem, da honra, da ética e da responsabilidade. Lembro-me das inúmeras vezes em que entre um abraço e um beijo, vocês me lembravam da realização do sonho de vocês em poder oferecer aos filhos as oportunidades que não tiveram. Graças aos ensinamentos passados por vocês eu soube aproveitar essas oportunidades e agora podemos lembrar com orgulho de todas as horas de dificuldade e luta e concluirmos que tudo isso está valendo a pena.

Pai,

Infelizmente não temos mais o senhor junto de nós para comemorarmos esse momento tão importante da minha vida, mas pode ter certeza que em cada vez que eu sentir o sentimento de vitória que sinto hoje, eu estarei pensando em ti com saudade, orgulho e gratidão.

Obrigado Mãe e obrigado Gordo! Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar aos meus pais por toda confiança aplicada em mim, por todo o carinho e pela oportunidade que me deram de poder sonhar com um futuro melhor.

Agradeço a minha grande irmã por toda ajuda não só em todos os momentos de dificuldade, mas também pela companhia nos momentos de alegria, agradeço a ela também pelo Tiago, que além de cunhado, na minha vida também é dono do papel de grande amigo e irmão.

Aos amigos Henrique, João Paulo, Ronaldo e Alberto por todos os momentos de curtidão que passamos juntos nesses cinco anos de convivência, e que isto seja apenas o início na nossa amizade.

Ao meu grande amigo Matheus e a toda sua família, pelo companheirismo e pela parceria forte nos momentos de alegria e tristeza.

Agradeço ao Prof. Gaspar pela oportunidade de trabalharmos juntos durante esses cinco anos e a ele agradeço também pela paciência, confiança e apoio.

À Lucélia grande amiga e pessoa que mais me auxiliou no desenvolvimento do trabalho sempre com paciência e com boa vontade... Obrigado Lú!

E aos demais amigos do GPSi, Valéria, Guilherme, Lílian, Anelisa, Ailton, Gustavo, Rogério, Daniel, Felipe e todos os outros.

RESUMO

Em todo o mundo a atividade industrial gera resíduos que podem vir a representar sérios riscos ao meio ambiente. Nos processos de fundição de ferro-gusa e aço, têm-se como resultado uma grande quantidade de escórias. Em razão das possibilidades de risco ambiental, faz-se necessário definir um destino adequado a este resíduo. Desde que apresente características corretivas e/ou fertilizantes uma escória pode perfeitamente ser empregada na agricultura. A presença dos silicatos de cálcio e magnésio na composição química das escórias resume a potencialidade de seu uso na agricultura, já que a reação destes promove a correção da acidez do solo e ainda liberam Si, Ca e Mg na solução do solo. O objetivo deste estudo baseou-se em avaliar a reatividade da escória transformada, em dois solos (LVd e RQo) a fim de se definir a viabilidade técnica de seu uso na agricultura. Para avaliar a eficiência da escória utilizou-se como produto padrão a Wollastonita. Para cada solo foram estabelecidos seis tratamentos, sendo um tratamento testemunha, sem adição de Si, três tratamentos com Wollastonita, nas doses de 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de Si, de modo que com os resultados fosse possível obter uma curva padrão para avaliar o desempenho dos tratamentos com escória transformada nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições em delineamento inteiramente casualizado. Cada repetição correspondeu a um recipiente plástico no qual incubou-se 300 g de solo com a dose e o produto correspondente ao tratamento. Os recipientes foram acondicionados em local protegido da incidência direta de raios solares e de chuvas e decorridos 30 e 60 dias após a incorporação das fontes aos solos, foram retiradas amostras de aproximadamente 50 g de cada recipiente e realizou-se as análises de Si solúvel, pH, Ca e Mg trocáveis. Para o LVd observou-se maior reatividade da escória em relação à Wollastonita já que os teores de Si nos solos submetidos à escória foram maiores tanto para 30 quanto para 60 dias. Já para o RQo a escória se comportou melhor em relação à Wollastonita apenas para 60 dias de incubação. Avaliando-se a correção da acidez, observou-se que em ambos os solos a escória foi capaz de aumentar o pH, sendo que no RQo a performance da escória foi melhor quando comparada à Wollastonita. Com relação ao Ca e ao Mg, ambas as fontes aumentaram os teores destes elementos nos solos, porém a escória transformada teve um melhor desempenho para o Mg tanto para o LVd quanto para o RQo.

Palavras-Chave: Escória; Corretivo de acidez; Silício; Cálcio; Magnésio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	07
2 REVISÃO DE LITERATURA	09
2.1 As escórias de siderurgia	09
2.2 Uso de escórias siderúrgicas como corretivo de solo e fonte de Silício, Cálcio e Magnésio para as plantas	10
2.3 Importância do Silício no solo e nas plantas	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1 Teores de Si no solo	18
4.1.1 Avaliação da Escória Transformada como fonte de Si	19
4.2 Correção da acidez do solo	20
4.2.1 Avaliação da Escória Transformada como corretivo de acidez	21
4.3 Teores de Ca e Mg no solo	22
4.3.1 Avaliação da Escória Transformada como fonte de Ca e Mg	23
5 CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo a atividade industrial gera resíduos sólidos que podem vir a representar sérios riscos ao meio ambiente e ao bem-estar das pessoas. Nos processos de fundição de ferro-gusa e aço, têm-se como resultado uma grande quantidade de escórias e outros resíduos sólidos. Em razão das possibilidades de risco ambiental, faz-se necessário definir um destino adequado a este resíduo, e se possível empregá-lo em outras atividades essenciais ao homem.

Desde que apresente características corretivas e/ou fertilizantes e não contamine o solo e os mananciais hídricos, uma escória pode perfeitamente ser empregada em atividades agrícolas. Caso comprovado o potencial agrícola de uma escória, esta deve então ser entendida como um subproduto dos processos siderúrgicos e não apenas um resíduo.

Apesar da grande quantidade disponível de resíduos industriais, aproximadamente três milhões de toneladas por ano, no Brasil, estes materiais são pouco empregados na agricultura, diferentemente de outras partes do mundo, como o Japão, onde o emprego dos resíduos é amplamente estudado e aplicado às atividades agrícolas.

A composição química das escórias varia de acordo com a matéria-prima utilizada para a fundição do ferro e do aço. Dentre os principais constituintes de uma escória destaca-se a grande concentração de silicatos de cálcio e magnésio. A presença dos silicatos de cálcio e magnésio na composição química das escórias resume a potencialidade de seu uso na agricultura, já que a reação destes materiais no solo promove a correção da acidez do solo.

Os silicatos de cálcio e magnésio, além de ter características corretivas, ainda são considerados fontes de silício, cálcio e magnésio. O aumento na disponibilidade do Si no solo e conseqüentemente o aumento dos teores de Si na planta, resulta em aumentos de crescimento e produtividade de várias culturas, principalmente as espécies gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, milho e trigo e algumas culturas não gramíneas como alface, soja, feijão e pepino. Outros efeitos benéficos do Si correspondem ao aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças, além de regular a taxa de transpiração e ainda aumentar a eficiência fotossintética (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

Os aumentos dos 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 elemento no crescimento radicular (CAIRES et al., 2001).

A escória transformada corresponde a um resíduo da Votorantim Metais, e em razão das satisfatórias concentrações de óxido de silício, óxido de cálcio e magnésio em sua composição, o objetivo deste estudo, baseou-se em avaliar por meio de métodos químicos a reatividade deste material, em dois tipos de solo, a fim de se definir a viabilidade técnica de seu uso na agricultura como corretivo de acidez e/ou fonte de silício, cálcio e magnésio, o que representa a etapa inicial dos estudos para se obter o registro do produto junto ao Ministério da Agricultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 As escórias de siderurgia

As escórias siderúrgicas resumidamente correspondem a um dos resíduos da metalurgia do ferro e do aço, e são obtidas por meio da reação de calcário com a sílica presente no minério de ferro: $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$ (KORNDÖRFER et al., 2004a). Essa reação ocorre com temperatura acima de 1900°C e faz-se necessária pelo fato de que a sílica corresponde à principal impureza da matéria prima da produção metalúrgica.

A composição das escórias varia bastante, porém a maioria é formada principalmente por silicato de cálcio (CaSiO_3), silicato de magnésio (MgSiO_3) e elementos como Fósforo (P), Enxofre (S), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Boro (B), Molibdênio (Mo), Cobalto (Co), etc.

As escórias silicatadas já vêm sendo utilizadas na agricultura em diversas partes do mundo. Em alguns países asiáticos como o Japão e Taiwan, utiliza-se anualmente de 1,5 a 2,0 t ha⁻¹ de escória, principalmente na cultura do arroz, visando os benefícios que o silício traz para esta cultura e os eventuais aumentos significativos de produtividade destas plantas (LIAN, 1976). Entretanto, no Brasil, apesar da grande disponibilidade, aproximadamente 3 milhões de toneladas por ano, os resíduos industriais são pouco utilizados nas atividades agrícolas (PRADO; FERNANDES, 2001).

Uma grande potencialidade do uso das escórias siderúrgicas na agricultura, corresponde à presença de silicatos em sua composição. Os silicatos comportam-se no solo de maneira similar aos carbonatos, elevando o pH, neutralizando o Alumínio (Al) tóxico às plantas, além de serem ricos em Ca e Mg (ALCARDE, 1992).

A concentração de Si total nas escórias produzidas no Brasil varia de acordo com o minério utilizado como matéria prima na fabricação do ferro ou aço. Contudo, geralmente as escórias provenientes de aciaria apresentam entre 12 a 22 dag kg⁻¹ e as escórias de alto-forno, entre 36 a 42 dag kg⁻¹ de silício (PIAU, 1995). As escórias de alto-forno, apesar de possuir maior teor de Si, apresentam também uma maior quantidade de metais pesados e apresentam também menor solubilidade, em relação às escórias de aciaria (KORNDÖRFER et al., 2004a).

Estudos com escórias aplicadas ao solo têm demonstrado um significativo aumento de pH e redução do $H+Al$ (PRADO; FERNANDES, 2000, 2003), em razão da presença de agente neutralizante da acidez como o SiO_3^{-2} (ALCARDE, 1992); incrementos na disponibilidade de P (PRADO et al., 2002), Ca, Mg (PRADO; FERNANDES, 2003) e Si no solo (WINSLOW, 1992) o que, para culturas acumuladoras de Si como o arroz e a cana-de-açúcar, tem refletido em tolerância a doenças e aumento de produtividade (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

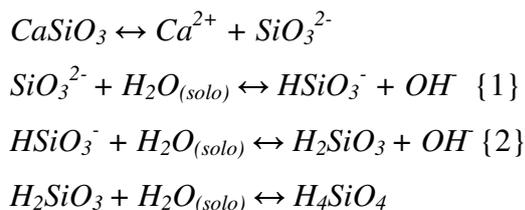
2.1 Uso de escórias siderúrgicas como corretivo de solo e fonte de Si, Ca e Mg para as plantas

Os corretivos de acidez do solo são produtos capazes de neutralizar a acidez e ainda levar nutrientes essenciais às plantas, principalmente o cálcio e o magnésio. Geralmente os materiais empregados como corretivos de acidez são óxidos, hidróxidos, escórias e carbonatos de Ca e Mg (MALAVOLTA, 1980).

Atualmente os carbonatos são os corretivos de solo mais utilizados, porém há uma preocupação em se encontrar corretivos alternativos e que possuam a mesma eficiência dos carbonatos, já que estes são minerais não renováveis e, além disso, as áreas das quais se extraem estes minerais tornam-se totalmente degradadas impedindo que sejam aproveitadas para qualquer outro fim. Assim sendo, as escórias de siderurgia têm ganhado cada vez mais importância na atividade agrícola mundial.

Segundo Korndörfer et al. (2004a), uma escória de siderurgia, pode ser recomendada para uso agrícola caso tenha altos teores de Si solúvel, CaO e MgO, alta reatividade (poder real de neutralização), boas propriedades físicas (granulometria fina, alta densidade, etc.), efeito residual prolongado, baixo custo e tenha em sua composição baixos teores de contaminantes como metais pesados e radioativos, dentre os quais destacam-se Arsênio, Cádmio, Chumbo, Mercúrio e Cromo.

Dentre os principais componentes de uma escória de siderurgia, destacam-se os silicatos de cálcio ($CaSiO_3$) e de magnésio ($MgSiO_3$) sendo estes, os responsáveis pela correção da acidez do solo. Basicamente o mecanismo de correção da acidez pelos silicatos presentes nas escórias pode ser explicado pelas seguintes reações descritas por Alcarde e Rodella (2003):



As equações demonstram que a hidrólise do ânion silicato promove a liberação de hidroxilas (OH⁻) que no solo reagem neutralizando os prótons (H⁺), promovendo a elevação do pH, e ainda reagem com o Al³⁺ presente no solo formando o hidróxido de alumínio (Al(OH)₃), que corresponde a uma forma precipitada e não tóxica aos vegetais.

Como descrito anteriormente, o mecanismo de correção da acidez do solo pelo uso dos silicatos, resulta na produção do ácido monossilícico (H₄SiO₄), que corresponde à forma química pela qual a planta absorve o silício, micronutriente benéfico às plantas (BRASIL, 2004). Assim sendo, a presença do Si na composição das escórias pode ser considerada como uma vantagem do uso deste material como corretivo de solo, em relação aos carbonatos.

Além do Si, os silicatos de cálcio e magnésio presentes nas escórias de siderurgia liberam para solução do solo quantidades consideráveis de Ca e Mg. A presença de Ca na solução do solo em contato com as raízes é essencial para a sobrevivência das plantas, pois esse nutriente não se transloca da parte aérea para as porções novas das raízes em crescimento (CAIRES et al., 2001). Além disso, o Ca é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares. O Magnésio, por sua vez, também é considerado como elemento essencial para o desenvolvimento das plantas e dentre suas funções destacam-se a sua participação na clorofila e a sua função de ativar um grande número de enzimas (MALAVOLTA et al., 1997).

Assim como nos carbonatos, a reatividade de uma escória varia de acordo com sua granulometria, a dosagem utilizada, o tipo de solo e o tempo de contato da escória com o solo. Porém, em comparação aos carbonatos, o poder corretivo das escórias pode ser superior em função da característica de suas partículas, que apresentam maior superfície específica, e, teoricamente, maior reatividade (NOLLA, 2004).

Em seu mecanismo de correção da acidez do solo, os silicatos presentes nas escórias, diferentemente dos carbonatos, não liberam para a atmosfera moléculas de CO₂, que contribuem para o aumento do efeito estufa e de seus conseqüentes danos ao meio ambiente (NOLLA, 2004).

2.3 Importância do Silício no solo e nas plantas

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 (RAMOS, 2005)

O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio, está presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, porém os cultivos consecutivos podem diminuir o teor de Si até o ponto em que a adubação silicatada seja necessária para maximizar a produção (KORNFÖRFER et al., 1999).

Embora o silício não seja 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).

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 incluem a precipitação do silício em solução formando minerais; a polimerização do ácido silícico; a lixiviação; a adsorção em óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, além da absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al., 1999).

O uso dos silicatos como corretivos de acidez do solo, resulta na produção do ácido monossilícico (H_4SiO_4) que corresponde à forma química, pela qual as plantas absorvem o silício por fluxo de massa (TISDALE et al., 1993). Nas plantas o silício traz vários benefícios, dentre estes destacam-se o aumento da taxa fotossintética (DEREN et al., 1994) e a 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 Nitrogênio (N) (YOSHIDA et al., 1962; BALASTRA et al., 1989). Além disso, o Si promove o aumento da resistência da planta à incidência de doenças fúngicas por ser 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).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A escória avaliada é um resíduo da Votorantim Metais, e recebe em sua nomenclatura o termo “transformada” em razão de que diferentemente das outras escórias siderúrgicas, esta é submetida a um tratamento térmico, cuja temperatura varia entre 1350 a 1500°C e que modifica algumas de suas propriedades físicas e químicas em relação as outras escórias.

O experimento foi instalado no Bloco 4C do campus Umuarama da Universidade Federal de Uberlândia, em local protegido da incidência direta de raios solares e de chuvas, em delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, utilizando-se dois diferentes tipos de solo, sendo um de textura argilosa (Latosolo Vermelho Distrófico típico – LVd), proveniente do município de Uberlândia, e um segundo solo de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico Órtico típico – RQo) proveniente do município de Santa Vitória, os quais apresentam suas características químicas e físicas descritas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização química dos solos utilizados no experimento.

Solo	pH	P	Si	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.	
	CaCl ₂	--- mg dm ⁻³ ---				cmol _c dm ⁻³				---	%	---	g kg ⁻¹
LVd	4,1	0,9	4,5	0,7	0,1	0,1	0,2	0,96	10,1	2	76	40	
RQo	3,9	1,3	0,6	0,7	0,1	0,1	0,2	1,20	4,77	5	74	17	

P- Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Ca, Mg e Al - 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 - CaCl₂ (Korndorfer et al., 2004).

Tabela 2. Caracterização física dos solos utilizados no experimento.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg ⁻¹ -----			
LVd	90	43	33	834
RQo	626	218	1	155

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

Para efeito de comparação tanto para as avaliações com relação aos elementos Si, Ca e Mg quanto para o efeito sobre o pH do solo, utilizou-se a Wollastonita, que corresponde a um produto mundialmente empregado em estudos com silício, classificado como um metassilicato de cálcio natural de alto grau de pureza.

A Tabela 3 descreve a caracterização química da escória transformada e da Wollastonita, quanto aos seus teores de Si total, Si solúvel, conforme metodologia descrita

por Korndörfer et. al. (2004b) e quanto aos teores de CaO e MgO utilizando a metodologia empregada pela EMBRAPA (1999).

Tabela 3. Caracterização química dos materiais utilizados no experimento.

Material	Si Total*	Si Solúvel**	CaO	MgO
	----- % -----			
Escória transformada	19,4	4,99	32,24	5,95
Wollastonita	20,7	4,6	42,4	1,9

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

Para os tratamentos que receberam as fontes de silício (escória transformada e Wollastonita) as doses adicionadas foram determinadas com base nos teores de Si total das fontes e consistiram em doses crescentes, que equivaleram a 200, 400 e 800 kg ha⁻¹ de Si para a Wollastonita, e 200 e 400 kg ha⁻¹ para a escória transformada, de modo que com os resultados do tratamento padrão (Wollastonita) fosse possível obter uma curva padrão (Tabela 4).

Tabela 4. Doses de Si e de produto que foram utilizadas nos solos.

Tratamentos	Doses de Si	Doses do produto	Doses do produto
	-----	kg ha ⁻¹ -----	g 300g ⁻¹ de solo
Testemunha	0	0	0
Wollastonita	200	966,18	0,145
Wollastonita	400	1932,36	0,290
Wollastonita	800	3864,73	0,580
Escória transformada	200	1030,92	0,155
Escória transformada	400	2061,85	0,310

Após determinados os tratamentos e as doses correspondentes, a escória e a Wollastonita, moídos até passar 100% em uma malha de 0,3 mm (ABNT n.º. 50), foram incorporados a 300 g de solo seco ao ar e peneirado. Após a mistura homogênea, realizada dentro de um saco plástico, o solo foi depositado em recipientes plásticos e em seguida umedecido até 80% da capacidade de campo, para que as reações químicas ocorressem, sendo que para o LVd acrescentou-se 90 ml de água destilada e para o RQo 50 ml (Figura 1).



Figura 1. Procedimentos para instalação do experimento.

Após a adição da água pesou-se os potes plásticos obtendo-se os pesos de 390 e 350 g para LVd e RQo respectivamente. Estes pesos serviram como parâmetro para verificar a evaporação da água duas vezes por semana, para manter sempre a umidade inicial.

Decorridos 30 e 60 dias após a incorporação das fontes aos solos, foram retiradas amostras de aproximadamente 50 g de cada recipiente. Essas amostras foram devidamente identificadas e após secagem e moagem, realizou-se as análises de Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et. al. (2004b) e as análises de pH, Ca e Mg trocáveis pela metodologia proposta pela EMBRAPA (1999).

Com relação à estatística aplicada, primeiramente foi feita uma análise de regressão para as doses crescentes da fonte padrão (Wollastonita) e posteriormente a análise do desempenho da escória transformada, utilizando um esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, sendo as duas fontes (escória transformada e Wollastonita), as duas doses de cada fonte (200 e 400 kg ha^{-1}

de Si) e os dois tipos de solo por meio de teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa SANEST®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de Si no solo

Os teores de silício solúvel, extraídos pelo CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, do Latossolo Vermelho Distrófico típico, tanto após 30 quanto para 60 dias de incubação, aumentaram significativamente com as doses de Wollastonita aplicadas (Figura 2 – A e B), concordando com dados obtidos por Vidal (2003).

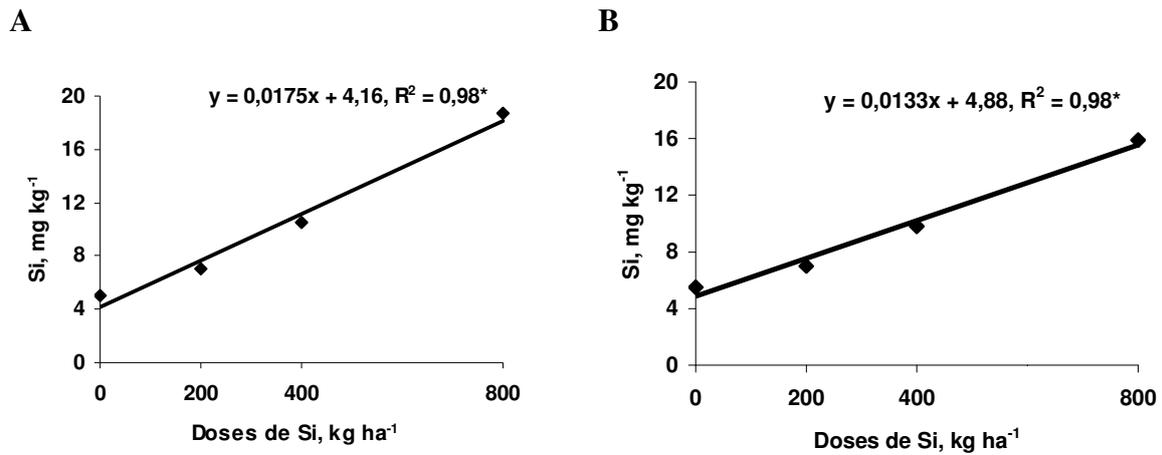


Figura 2. Teores de Si no solo no Latossolo Vermelho Distrófico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 30 (A) e 60 (B) dias de incubação.

O mesmo efeito é notado no Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Figura 3 – A e B). Isso demonstra, de forma geral, a eficiência e a solubilidade da Wollastonita, disponibilizando silício em solução.

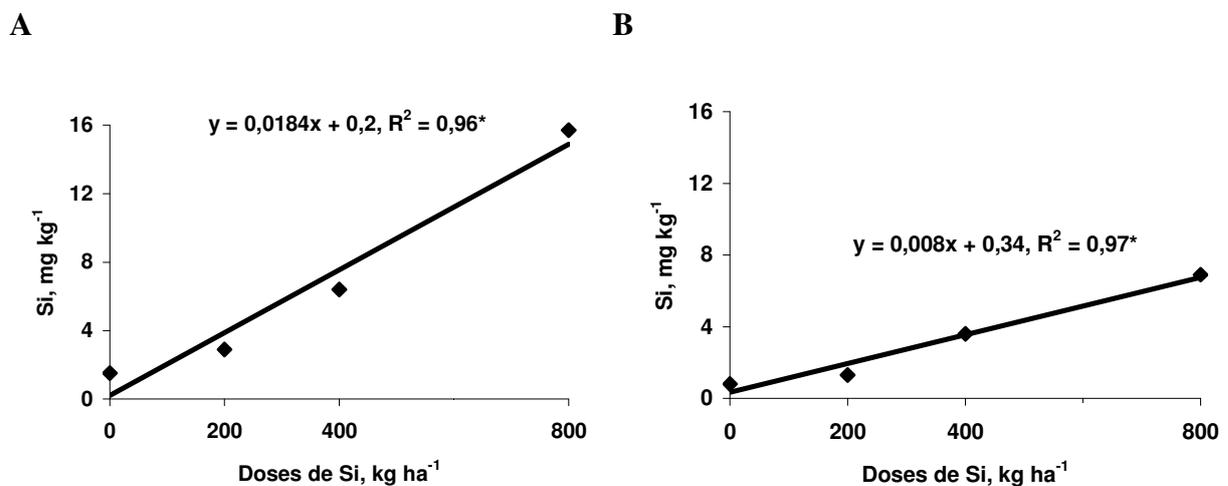


Figura 3. Teores de Si no solo no Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 30 (A) e 60 (B) dias de incubação.

4.1.1 Avaliação da Escória Transformada como fonte de Si

Para o Latossolo Vermelho Distrófico típico, considerando-se as médias das doses (200 e 400 kg ha⁻¹ de Si) da fonte padrão (Wollastonita) e dos tratamentos com escória transformada, pode-se perceber uma maior reatividade da escória, já que os solos submetidos a esta fonte apresentaram maiores teores de Si tanto aos 30 quanto aos 60 dias de incubação (Tabela 5). Este comportamento da escória indica uma alta reatividade deste material no solo, ou seja, trata-se de uma fonte de Si de alta solubilidade e possivelmente alta eficiência agronômica.

Tabela 5. Teores de Si no solo, extraídos com CaCl₂ (0,01 mol L⁻¹), aos 30 e 60 dias de incubação para os dois tipos de solos.

Fonte	RQo		LVd	
	30 dias	60 dias	30 dias	60 dias
	----- Teores de Si (mg kg ⁻¹) -----			
Wollastonita	4,7 a	2,4 b	8,8 b	8,9 b
Escória Transformada	5,8 a	3,2 a	13,9 a	10,5 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não distinguem entre si (Tukey 5%)

Avaliou-se também o comportamento da escória transformada no Neossolo Quartzarênico Órtico típico, no qual diferentemente do Latossolo Vermelho Distrófico típico, a escória se comportou melhor em relação à Wollastonita apenas para 60 dias de incubação (Tabela 5).

Em ambos os solos, os teores de Si apresentaram-se maiores na primeira coleta, isto é, 30 dias após o início da incubação, isso demonstra que praticamente toda reação da escória aconteceu nos primeiros 30 dias o que indica uma disponibilidade rápida podendo ser usada em culturas de ciclo curto como o arroz.

4.2 Correção da acidez do solo

O incremento das doses de Wollastonita proporcionou aumentos significativos do pH em ambos os solos (Latossolo Vermelho Distrófico típico e Neossolo Quartzarênico Órtico típico), tanto aos 30 quanto aos 60 dias de incubação (Figuras 4 e 5 – A e B). A presença do

silicato (SiO_3^{2-}) é capaz de neutralizar os prótons (H^+), segundo a equação descrita por Alcarde (1992), o que resulta em um efeito sobre o pH do solo e consequentemente quanto maior a dose de silicato aplicada, maior o pH do solo (KORNDÖRFER et al., 2002; CARDOSO, 2003).

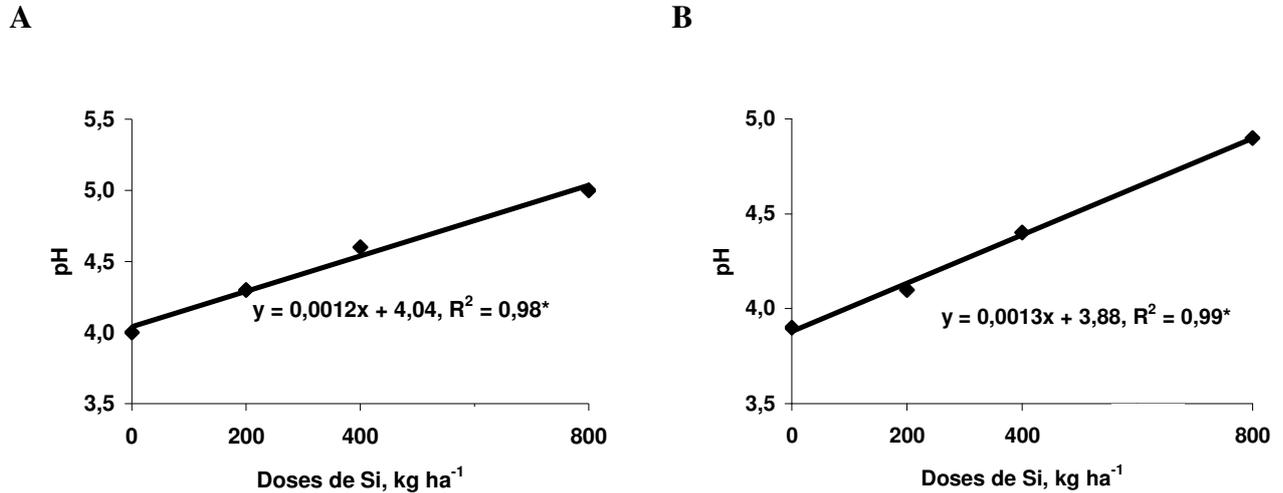


Figura 4. pH do solo, em cloreto de cálcio, no Latossolo Vermelho Distrófico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 30 (A) e 60 (B) dias de incubação.

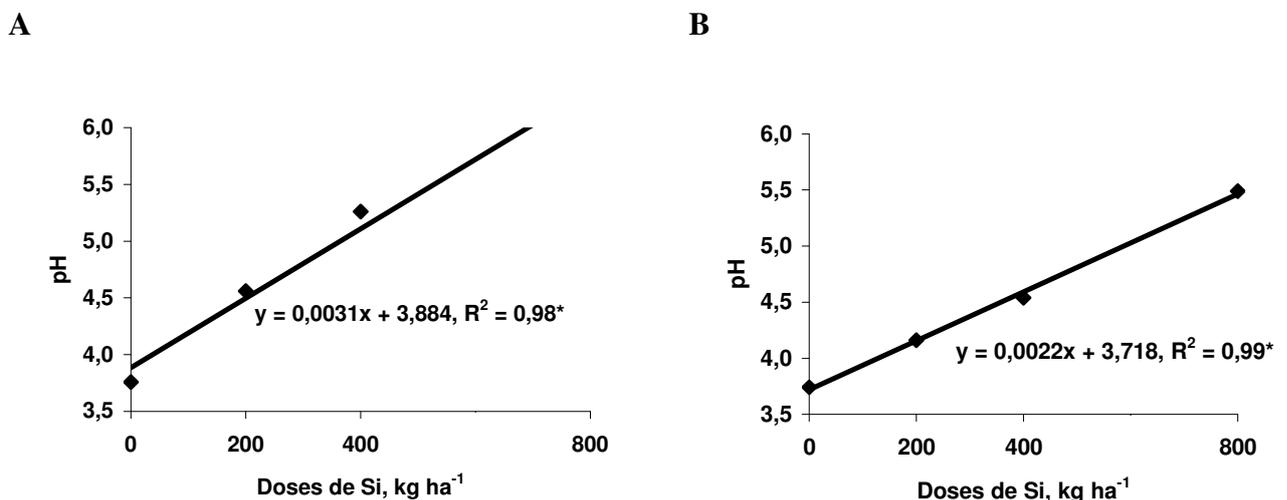


Figura 5. pH do solo, em cloreto de cálcio, no Neossolo Quartzarênico Órtico típico, em função da aplicação de doses de Wollastonita, aos 30 (A) e 60 (B) dias de incubação.

O comportamento das doses crescentes de Wollastonita foi o mesmo nos dois solos. Aumentando-se as doses, tem-se o aumento do pH, porém no Neossolo Quartzarênico ocorre uma maior elevação do pH em relação ao Latossolo. Isso ocorre devido ao menor poder

tampão dos solos arenosos, em relação aos argilosos (QUEIROZ, 2003), ou seja, os solos arenosos oferecem uma resistência menor à mudança de pH, em relação aos solos argilosos.

4.2.1 Avaliação da Escória Transformada como corretivo de acidez

Tanto a Wollastonita quanto a Escória Transformada foram capazes de aumentar o pH de ambos os solos, o que demonstra a alta reatividade da escória, assim como sua capacidade em corrigir a acidez do solo.

Avaliando-se a média entre as doses de cada fonte, pode-se observar que a escória obteve uma melhor performance que a fonte padrão na correção do pH do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (Tabela 6).

Tabela 6. pH em CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$), aos 30 e 60 dias de incubação para os dois tipos de solo.

Fonte	RQo		LVd	
	30 dias	60 dias	30 dias	60 dias
	----- pH -----			
Wollastonita	4,91 b	4,35 b	4,44 a	4,24 a
Escória Transformada	5,09 a	4,45 a	4,49 a	4,26 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não distinguem entre si (Tukey 5%)

A correção do pH foi maior no RQo se comparada ao LVd devido ao menor poder tampão do solo arenoso, isto é, precisa-se de menos corretivo para elevar uma mesma unidade de pH em um solo de textura arenosa como o Neossolo Quartzarênico Órtico típico.

4.3 Teores de Ca e Mg no solo

Aos 60 dias do início do período de incubação, o incremento nas doses de Wollastonita proporcionou um aumento significativo nos teores de Ca em ambos os solos, como se observa na Figura 6 (A e B). O que já era esperado em função da alta concentração de óxido de cálcio presente nesta fonte (Tabela 3).

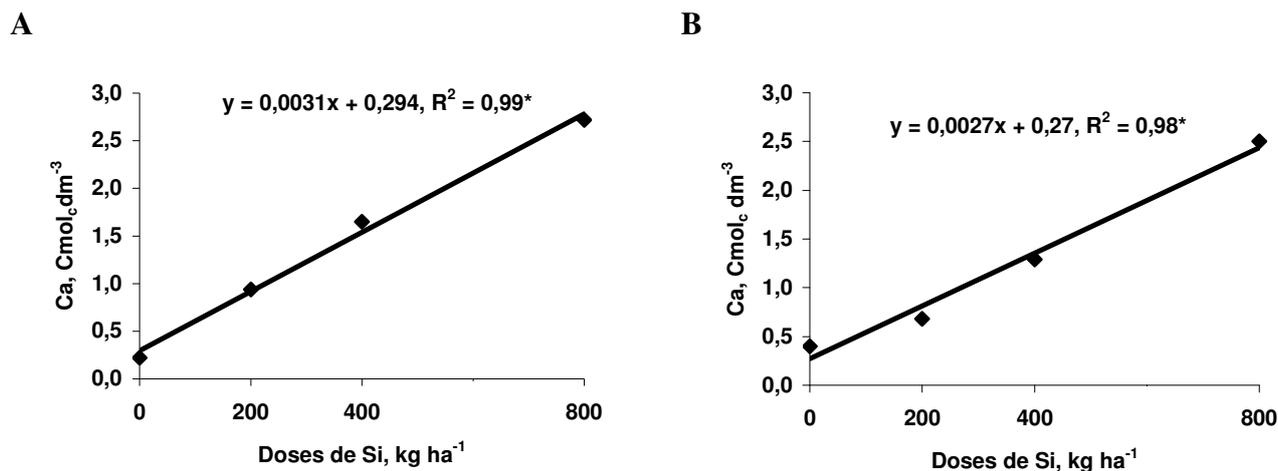


Figura 6. Teores de Ca no solo extraído com KCL 1 mol L⁻¹, aos 60 dias do início da incubação para o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (A) e para o Latossolo Vermelho Distrófico típico (B).

Já na Tabela 7 observa-se que para os teores de Mg, o incremento das doses de Wollastonita, não teve o mesmo efeito, consequência da baixa concentração de óxido de magnésio na Wollastonita (Tabela 3) e portanto a análise de regressão não se mostrou significativa.

Tabela 7. Tabela da análise de regressão para os teores de Mg extraído com KCL 1 mol L⁻¹, aos 60 dias do início da incubação para o Neossolo Quartzarênico Órtico e para o Latossolo Vermelho Distrófico típico.

Tratamentos	RQo	LVd
	----- Teores de Mg (Cmol _c dm ⁻³) -----	
Testemunha	0,11	0,12
Wollastonita (200 kg ha ⁻¹ de Si)	0,11	0,11
Wollastonita (400 kg ha ⁻¹ de Si)	0,12	0,13
Wollastonita (800 kg ha ⁻¹ de Si)	0,10	0,13
	N.S	N.S

N.S: Não significativos para análise de regressão.

4.3.1 Avaliação da Escória Transformada como fonte de Ca e Mg

Comparando-se a Escória Transformada à Wollastonita, por meio da média entre as doses (200 e 400 kg ha⁻¹ de Si), os teores de Ca e Mg no solo aos 60 dias de incubação refletem fundamentalmente a composição destes produtos, isto é, a escória transformada teve um desempenho tão bom quanto o da wollastonita, sendo capaz de aumentar de maneira

significativa os teores deste elemento nos dois solos (Tabela 7). Já para os teores de Mg a escória apresentou melhor desempenho em ambos os solos, devido a sua alta concentração em óxido de magnésio (Tabela 3).

Tabela 7. Teores de Ca e Mg, 60 dias após o início da incubação, para os dois tipos de solo.

Fonte	RQo		LVd	
	Teor de Ca	Teor de Mg	Teor de Ca	Teor de Mg
	----- cmol _c dm ⁻³ -----			
Wollastonita	1,29 a	0,11 b	0,98 a	0,11 b
Escória Transformada	1,20 a	0,24 a	0,92 a	0,25 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não distinguem entre si (Tukey 5%)

5 CONCLUSÕES

A escória transformada apresenta grande potencial para uso na agricultura como fonte de Si e também como corretivo de solo.

A escória representa uma boa fonte de Ca.

A escória apresenta grande potencial como fonte de Mg, tendo um desempenho superior à Wollastonita.

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 dos solos**. Características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).
- 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.; 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.
- BRASIL DECRETO Nº. 2954. Aprova o regulamento da lei nº 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Normas jurídicas (texto integral)**. DEC 004954, 14 jan., 2004, 27p.
- 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**, Campinas, v.25, p.1029-1040, 2001.
- CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens***. 2003. 48f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 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 – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1999. 212 p.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, Boletim Técnico; 01. 2004a. 23 p.

KORNDÖRFER, G. H., PEREIRA, H. S., NOLLA, A. **Análise de silício: solo planta e fertilizante.** Uberlândia, GPSi-ICIAG-UFU, Boletim Técnico; 02. 2004b. 50 p.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.1, p.101-106, 1999.

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.

LIAN, S. Silica fertilization of rice. **The fertility of padd soils and fertilizer applications for rice.** Food And Fertilizer Technology Center, Taiwan, 1976. p.197-220.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. S.; OLIVEIRA de S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas.** Piracicaba: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

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.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.).** 1995. 124 f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1995.

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. 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**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cana-de-açúcar a aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25,n.1,p.199-207, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.

QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39f. Monografia (Graduação em agronomia)- Instituto de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

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

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

VIDAL, A. **Fontes de silício para a cultura do arroz**. 2003. 34f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

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.