

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

**ANA PAULA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS COMO CORRETIVO DE ACIDEZ  
DO SOLO E COMO FONTE DE SILÍCIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO**

**Uberlândia – MG  
Junho – 2008**

**ANA PAULA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS COMO CORRETIVO DE ACIDEZ  
DO SOLO E COMO 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  
Junho – 2008**

**ANA PAULA DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DE ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS COMO CORRETIVO DE ACIDEZ  
DO SOLO E COMO 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 16 de junho de 2008***

Eng<sup>a</sup> Agr. M.Sc. Lucélia Alves Ramos  
Membro da Banca

Eng<sup>o</sup> Agr. Leonardo Silva Araújo  
Membro da Banca

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
Orientador

## AGRADECIMENTOS

À minha querida mãe que em todo o meu percurso de vida sempre lutou pra me oportunizar um futuro melhor. Espero valorizar tudo que me proporcionou e recompensá-la por tantos benefícios, cuidado, amor e carinho que tem comigo.

A todos meus familiares que me dão muito apoio emocional e profissional para enfrentar desafios que me têm surgido ao longo da minha vida, não só como estudante, mas também como cidadã.

Gostaria, ainda, de aproveitar esta página para prestar um agradecimento muito especial a Valter Antônio Silva que tem demonstrado ser, além de namorado fiel e amoroso, um grande amigo em todos os momentos. Inclusive neste projeto de conclusão de curso pelo apoio desde a montagem dos experimentos até as discussões dos resultados.

Não queria deixar também de mencionar o espírito colaborativo de muitos colegas, com quem tive todo o prazer em trocar experiências e “saberes díspares”: Aila Rios de Souza, Anne Kelly Queiroz Silva, Laura Carvalho Camargos, Douglas da Silva Santos, Israel Vieira Naves, Robson Thiago Xavier de Souza, Ralph Barbosa Silva, Aender César de Andrade e Thiago da Rocha Cortes. Agradeço em geral a toda 36ª turma de agronomia pelo companheirismo nestes 5 anos de curso.

Também agradeço a todos os professores que contribuíram decisivamente para a minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Em especial ao professor Gaspar Henrique Korndörfer que me orientou neste projeto.

E a todos os técnicos dos laboratórios que me auxiliaram nas análises e todos os componentes do Grupo de pesquisa em Silício.

Cabe, aqui, também um agradecimento aos meus colegas de curso e amigos: Eng<sup>a</sup> Agr. M.Sc. Lucélia Alves Ramos e Eng<sup>o</sup> Agr. Leonardo Silva Araújo, pela colaboração dada na correção da escrita, discussão e conteúdo deste projeto.

E, acima de tudo agradeço a Deus por ter me encaminhado na vida acadêmica e colocado pessoas tão maravilhosas no meu trajeto que me ajudaram a crescer não apenas como profissional, mas principalmente como ser humano.

## RESUMO

Escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro formadas a partir da reação do calcário com a sílica. São compostas principalmente por silicato de cálcio ou magnésio podendo ser utilizadas como corretivos de acidez e também como fonte de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de escórias siderúrgicas, provenientes da empresa HOLCIM, em disponibilizarem nutrientes (Si, Ca e Mg) e ainda seu papel como corretivo da acidez em dois solos da região do Triângulo Mineiro (LVd e RQo). Foi instalado um experimento de incubação, conforme metodologia de Medina-Gonzales, et al. (1988), em local protegido da incidência de luz e umidade. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado sendo 14 tratamentos e 4 repetições, totalizando 56 parcelas. Um total de 5 escórias (I, II, III, IV e V) foram testadas, sendo um tratamento testemunha sem adição de Si. Juntamente com as escórias foi também incubada a Wollastonita como fonte padrão de comparação. As escórias foram adicionadas a recipientes plásticos contendo 300 g de TFSA, nas doses de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si. A Wollastonita foi aplicada nas doses de 200, 400 e 800 kg ha<sup>-1</sup>. Para ambos os solos, aos 45 dias de incubação, coletaram-se amostras dos recipientes plásticos. Nos solos determinou-se o Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al., (2004). As análises de pH, Ca e Mg trocáveis foram realizadas segundo metodologia da EMBRAPA (1999). Os solos foram mantidos na capacidade de campo por 90 dias, ao final do experimento novas amostras foram avaliadas em relação às mesmas variáveis. Os teores de Si em ambos os solos aumentaram com as doses de escória aplicadas. As escórias I, II e III mostraram-se melhores no fornecimento de Si, Ca e Mg. As escórias que se destacaram no fornecimento de Si foram as mesmas que se destacaram na capacidade de neutralizar a acidez do solo. A comparação entre as análises aos 45 e 90 dias mostra que praticamente toda reação das escórias aconteceu nos primeiros 45 dias o que indica que são escórias de alta reatividade.

**Palavras-chave:** incubação; solos; silicatos; wollastonita

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	06
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	08
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Caracterização das amostras.....	11
3.2 Caracterização dos solos.....	13
3.3 Condução do experimento.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Disponibilidade de Si no solo.....	16
4.1.1 Avaliação das Escórias como fontes de Si.....	17
4.2 Teores de Ca e Mg no solo.....	19
4.2.1 Avaliação das Escórias como fontes de Ca e Mg.....	20
4.3 Correção da acidez do solo.....	21
4.3.1 Avaliação das Escórias como corretivos de acidez.....	22
5 CONCLUSÕES.....	24
REFERÊNCIAS.....	25

## 1 INTRODUÇÃO

Escórias são resíduos da indústria siderúrgica, formadas durante o processo de fundição do ferro-gusa e do aço. De acordo com a matéria prima utilizada nesta fundição, varia-se a composição química destas escórias. Em geral, são formadas por silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e silicato de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ), contendo ainda grandes quantidades de impurezas como fósforo(P), enxofre(S), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), etc.

Estes resíduos são considerados subprodutos dos processos siderúrgicos desde que sejam comprovadas suas características agronômicas na correção da acidez do solo e como fornecedora de nutrientes, e ainda quando sua utilização não ofereça riscos ao meio ambiente (como contaminação do solo e mananciais) e ainda à saúde humana.

O potencial de uso agrícola das escórias siderúrgicas já é mundialmente reconhecido. A utilização desse material na agricultura é uma alternativa viável, tendo em vista à enorme quantidade produzida (superando 3 milhões de toneladas ao ano no Brasil) e sua capacidade já comprovada em atuar como corretivos, elevando o pH, neutralizando o alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) e outros elementos tóxicos, além de serem ricos em cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e apresentarem, ainda, alguns dos principais macros e micronutrientes requeridos na agricultura como o P, Fe e o Mn (KLUGER, 1989).

Sabe-se que os carbonatos são os corretivos de solo mais utilizados, porém novos outros estão sendo estudados de forma a quebrar a prerrogativa de que somente estes possuam tais finalidades. É o caso das escórias de siderurgia que além de possuírem os mesmos efeitos dos corretivos calcários são fornecedores de silício (Si), um elemento químico merecedor de destaque por causar muitos benefícios às plantas. Alguns dos benefícios 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). Logo, a disponibilidade do Si no solo e conseqüentemente a elevação 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.

Resíduos de plantas são em alguns casos usados como fontes de Si (casca de arroz e bagaço de cana). Obviamente que nestes casos, além de serem fontes de Si de liberação lenta, terem usos mais nobres como a geração de vapor, etc., são insuficientes para atender a enorme demanda por Si. Por outro lado, existem as escórias de siderurgia ricas em Si que poderiam

perfeitamente atender esta demanda. As altas temperaturas utilizadas nos processos siderúrgicos libertam frequentemente o Si de estados mais cristalinos até formas mais reativas e, portanto mais solúveis.

São também conhecidos os efeitos positivos das escórias advindos com o fornecimento de Ca e Mg, uma vez que são elementos essenciais e, portanto limitantes ao desenvolvimento dos vegetais.

O objetivo deste trabalho, foi avaliar o potencial de escórias siderúrgicas, provenientes da empresa HOLCIM, no fornecimento de Si, Ca e Mg , e ainda seu papel como corretivo da acidez em dois solos característicos da região do Triângulo Mineiro.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Para a indústria siderúrgica produzir uma tonelada de ferro-gusa e do aço tem como resíduo 0,75 e 0,64 tonelada de escória de siderurgia de alto forno e de aciaria respectivamente (FILHO, 1981; citado por PRADO et al., 2001). Este fato gerou significativo volume de escória de siderurgia, praticamente subutilizada. Tem sido colocado que o uso agronômico deste resíduo constitui uma forma de destino mais econômico e com menores reflexos para o ambiente. Neste sentido, alguns experimentos conduzidos no Brasil com culturas anuais atestam seu efeito corretivo e como fonte de alguns nutrientes como Ca, Mg, Zn, B, Fe e Mn (PIAU, 1995).

Em países como o Japão, praticamente todo agregado siderúrgico é reciclado, sendo parte dele usado como fertilizante (TAKAHASHI et al., 1990). As escórias siderúrgicas são as fontes mais abundantes e “baratas” de silicatos, além de o seu uso poder reduzir o passivo ambiental, uma vez que o Brasil é um dos grandes produtores mundiais de ferro-gusa, produzindo 6,25 milhões de toneladas anuais (KORNDÖRFER et al., 2002).

O uso da escória de siderurgia na agricultura brasileira é restrito, embora seja um destino agronomicamente viável para aproveitamento de parte desses subprodutos, que nas últimas décadas, vem se acumulando com o crescimento do parque siderúrgico nacional. Diversos trabalhos têm mostrado a escória de siderurgia com resultados agronômicos favoráveis em diversas culturas principalmente em países como Japão, China e EUA (KIDDER; GASHO, 1977; citado por PRADO; FERNANDES, 2000). Porém, alguns trabalhos conduzidos no Brasil mostram a escória de siderurgia com resultados favoráveis em espécies gramíneas como arroz (CRUSCIOL, 2004) e cana-de-açúcar (PRADO et al., 2003) e espécies não gramíneas como o maracujá (PRADO, 2004), o tomate (FIORI, 2006), e a goiaba (PRADO et al.; 2003).

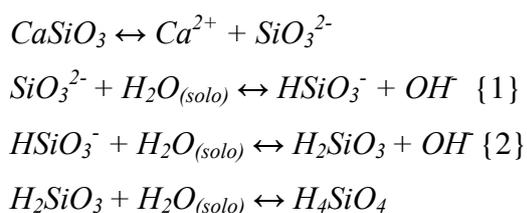
Além do calcário, os silicatos também são usados para correção da acidez do solo, sendo que as escórias siderúrgicas são as fontes mais empregadas para esse fim. Esses materiais são constituídos por  $\text{CaSiO}_3$  e  $\text{MgSiO}_3$ , e assim como no calcário, sua reatividade varia segundo a granulometria, dosagem utilizada, tipo de solo e com o tempo de contato da escória com o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al., 1993; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1994).

Segundo Sanchez e Salinas (1983), a acidez do solo é o fator que mais interfere na produtividade, especialmente nas regiões tropicais. Solos com pH abaixo de 5,5, apresentam

uma menor disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo, o que prejudica o desenvolvimento das plantas afetando de forma negativa a produtividade. Os prótons que promovem a acidificação do solo ( $H^+$  e  $Al^{3+}$ ) são neutralizados pela aplicação de produtos que liberam ânions, efetuando assim a correção da acidez do solo (ALCARDE; RODELLA, 2003).

A escória de siderurgia pode ser utilizada como corretivo de acidez do solo devido à sua ação neutralizante em solos ácidos (ANDERSON; BOWER, 1992), que ocorre pela dissociação do silicato de cálcio e de magnésio com formação de íons hidroxila, responsáveis pela neutralização dos prótons na solução do solo, que são os responsáveis pela sua acidez (ALCARDE, 1992).

A ação neutralizante do silicato pode ser explicada pela reação abaixo, conforme Alcarde (1992), onde o mecanismo de correção da acidez pelo silicato resulta na formação de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), que corresponde à forma química pela qual as plantas absorvem o silício.



Logo, 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 (ARAÚJO, 2007). A granulometria fina das escórias permite maior reatividade no solo, tanto nos arenosos como nos argilosos (NOVAIS et al., 1993). 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). Uma outra vantagem dos silicatos em relação aos carbonatos é o fato de que nos primeiros não há a liberação para a atmosfera de moléculas de  $CO_2$ , que contribuem para o aumento do efeito estufa e de seus conseqüentes danos ao meio ambiente (NOLLA, 2004).

O elemento Si tem sido considerado como um elemento benéfico para um grande número de culturas, particularmente gramíneas. Seu efeito está normalmente ligado à prevenção de pragas e doenças. Plantas bem nutridas com Si apresentam, em geral, uma resistência maior ao ataque de pragas e doenças fúngicas. Os efeitos do Si no aumento da produção estão relacionados ao mecanismo de defesa física da planta pela deposição do elemento entre a lamela média e a epiderme da folha, indução de fitoalexinas (fenóis),

redução do acamamento, redução da transpiração, aumento da capacidade fotossintética (KORNDÖRFER et al., 2004).

As escórias siderúrgicas por terem em sua composição quantidades expressivas de silício, podem ser utilizadas como fonte deste elemento para as plantas. Os silicatos de Ca e Mg, provenientes das escórias da produção de aço, desde que não tenham um potencial de contaminação do solo com metais pesados, podem atender perfeitamente a demanda por Si. (KORNDÖRFER et al., 2003).

Vêm-se nestes produtos fontes também importantes de outros nutrientes como Ca e Mg. A alta concentração de cálcio e magnésio nas escórias sugere sua utilização como corretivo de solo e como fonte destes nutrientes para as plantas, especialmente para solos arenosos com baixíssima fertilidade. O aumento de teores de cálcio e magnésio no solo em razão da utilização da escória pode apresentar efeito positivo no desenvolvimento de raízes, especialmente em relação ao cálcio, uma vez que são bem conhecidos os efeitos positivos deste elemento no crescimento radicular (CAIRES et al., 2001). O Mg, por sua vez, é componente estrutural da clorofila, estando envolvido nos processos fotossintético e respiratório da planta e ainda na ativação de um grande número de enzimas (MALAVOLTA et al., 1997).

Segundo Piau (1995), para que uma escória possa ser utilizada na agricultura, há necessidade do licenciamento ambiental por órgão ligado à Secretaria Estadual do Meio Ambiente e pelo Ministério da Agricultura, no qual a composição química e física da escória deve seguir as normas para corretivos de solo. Se apropriada para uso agrícola, a escória é liberada e certificada, passando a ser uma escória agrícola. Conforme Korndörfer et al. (2004), para se recomendar o uso na agricultura de uma escória de siderurgia, esta tem que apresentar altos teores de Si solúvel com disponibilidade imediata, altos teores de CaO e MgO, alta reatividade (poder real de neutralização), boas propriedades físicas (granulometria fina e facilidade de aplicação - alta densidade), efeito residual prolongado, baixos teores de contaminantes (metais pesados e radioativos) e ainda um baixo custo para o produtor.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de incubação foi instalado em outubro de 2005 na Universidade Federal de Uberlândia, em local protegido da incidência direta de raios solares e de chuvas. Foram avaliadas cinco escórias siderúrgicas, provenientes da empresa: HOLCIM, sendo utilizada a Wollastonita, como fonte padrão de comparação dos silicatos. Foram utilizados dois solos: o Latossolo Vermelho distrófico típico e o Neossolo Quartzarênico órtico típico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado sendo 14 tratamentos e 4 repetições, totalizando 56 parcelas. Considerando os dois solos, ao final havia 112 parcelas. As escórias e a Wollastonita foram adicionadas a recipientes plásticos contendo 300 g de TFSA (terra fina seca ao ar), e incubadas durante 90 dias, sob diferentes doses.

#### 3.1 Caracterização das amostras

As fontes de Si (escórias siderúrgicas) estudadas foram fornecidas pela empresa HOLCIM, da qual se dispunha da concentração de alguns dos elementos químicos presentes na composição das escórias (Tabela 1). Inicialmente as escórias foram caracterizadas quanto ao teor de silício solúvel e total, conforme metodologia descrita por Korndörfer et. al., (2004), óxido e cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) (Tabela 2). A Wollastonita ( $\text{CaSiO}_3$ ), silicato de cálcio com alto grau de pureza, cuja composição química esta descrita na Tabela 3, foi utilizada como padrão de comparação. A Wollastonita é um produto mundialmente empregado em estudos com silício que se caracteriza como um metassilicato comercializado como Vansil – EW 20.

As amostras de escórias antes de incubadas foram moídas até que passaram 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegadas).

Tabela 1. Caracterização química quanto à presença de metais no produto fornecido pela empresa HOLCIM (Resultados HOLCIM).

Elemento Químico	Símbolo Químico	Limite	Amostras 1, 2 e 3	Amostra 4	Amostra 5
			----- ppm -----		
Arsênio	As	< 1500	---	---	---
Berílio	Be	< 500	---	---	---
Cádmio	Cd	< 100	1,07	1,08	0,96
Cobalto	Co	< 1500	---	---	---
Cromo	Cr	<5.800	19,0	53,8	27,8
Cálcio	Ca	---	---	---	---
Ferro	Fe	---	904	11.900	5.590
Potássio	K	---	---	---	---
Lítio	Li	---	---	---	---
Manganês	Mn	---	3.200	8.150	4.810
Magnésio	Mg	---	---	---	---
Prata	Ag	---	---	---	---
Alumínio	Al	---	---	---	---
Boro	B	---	---	---	---
Bário	Ba	---	---	---	---
Cobre	Cu	< 5.000	0,96	1,65	0,61
Mercúrio	Hg	< 10	---	---	---
Molibdênio	Mo	---	---	---	---
Sódio	Na	---	---	---	---
Níquel	Ni	< 1.500	ND	ND	ND
Fósforo	P	---	---	---	---
Chumbo	Pb	< 6.000	7,59	11,7	10,3
Paládio	Pd	---	---	---	---
Platina	Pt	---	---	---	---
Rubídio	RB	---	---	---	---
Antimônio	Sb	< 5.800	---	---	---
Selênio	Se	< 1.500	---	---	---
Estanho	Sn	< 5.800	---	---	---
Telúrio	Te	< 1.500	---	---	---
Titânio	Ti	---	---	---	---
Tálio	Tl	< 100	---	---	---
Vanádio	V	< 5.800	---	---	---
Zinco	Zn	< 30.000	2,37	3,24	5,11

ND elemento não detectado

--- análises não realizadas

Tabela 2. Caracterização das escórias siderúrgicas da HOLCIM utilizadas no estudo de incubação.

Identificação da amostra	Si Total*	Si Solúvel**	CaO	MgO
Escória -I	14,3	0,58	6,61	5,10
Escória -II	18,4	0,69	39,25	5,47
Escória - III	17,9	0,70	42,06	28,93
Escória -IV	30,3	0,42	33,64	10,69
Escória -V	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 - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+NO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub>).

Tabela 3. Composição química da Wollastonita (CaSiO<sub>3</sub>), fonte padrão utilizada no experimento.

Si	CaO	MgO	Densidade	Peso molecular	pH
----- % -----			--kg m <sup>-3</sup> --	--g--	
24	42	1,5	2,9	116	9,8 (sol.10%)

### 3.2 Caracterização dos Solos

Para determinar a reatividade (ação corretiva e liberação de nutrientes) das escórias, foram utilizados dois solos característicos do Cerrado brasileiro: Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), coletado no município de Santa Vitória - MG e Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), coletado em Uberlândia-MG. Os solos foram caracterizados quanto aos seus atributos químicos (Tabela 4) e físicos (Tabela 5).

Tabela 4. Análise química dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solos	pH	P*	Si	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	CTC	V	m	M.O.
		---mg dm <sup>-3</sup> ---	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----- % -----				g kg <sup>-1</sup>	
LVd	4,4	2,0	6,6	0,70	0,20	0,00	0,26	0,96	7,30	4	73	40
RQo	4,4	56,0	3,3	1,00	0,20	0,10	0,39	1,40	5,20	7	71	15

\*Pmeh-1 e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Si - Extrator CaCl<sub>2</sub> (Korndorfer et al., 2004).

Tabela 5. Caracterização física dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solos	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	..... g kg <sup>-1</sup> .....			
<b>LVd</b> - Latossolo Vermelho Distrófico Típico	90	43	33	834
<b>RQo</b> - Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	626	218	1	155

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1999).

### 3.3 Condução do Experimento

As escórias e a Wollastonita foram incorporadas em 300 g de TFSA no dia 04/10/2005. Com o auxílio de sacos plásticos, cada tratamento foi misturado e homogeneizado. Em seguida, essas amostras foram transferidas para recipientes plásticos e umedecidas até a capacidade de campo. As escórias foram aplicadas aos solos nas doses de 200 e 400 Kg ha<sup>-1</sup> de Si. Juntamente com as escórias foi também incubada a Wollastonita, nas doses de 200, 400 e 800 kg ha<sup>-1</sup> de Si, e uma testemunha sem adição de Si (Tabela 6). Os tratamentos permaneceram incubados até o dia 02/01/06 segundo metodologia e descrição de Medina-Gonzales et al. (1988).

Tabela 6. Doses de Si e de produtos (silicatos) utilizadas no estudo de incubação.

Tratamentos	Dose de Si	Quantidade do produto	Dose do produto
	.....kg ha <sup>-1</sup> .....		g 300 g <sup>-1</sup> de solo
TESTEMUNHA	0	0	0
WOLLASTONITA (padrão de Si)	200	825,8	0,124
WOLLASTONITA (padrão de Si)	400	1651,5	0,248
WOLLASTONITA (padrão de Si)	800	3303,0	0,496
HOLCIM - escória I	200	1398,6	0,209
HOLCIM - escória I	400	2797,2	0,419
HOLCIM - escória II	200	1086,9	0,163
HOLCIM - escória II	400	2173,8	0,326
HOLCIM - escória III	200	1117,3	0,167
HOLCIM - escória III	400	2234,6	0,335
HOLCIM - escória IV	200	660,1	0,100
HOLCIM - escória IV	400	1320,2	0,200
HOLCIM - escória V	200	966,2	0,145
HOLCIM - escória V	400	1932,4	0,290

As amostras de solos foram umedecidas até a capacidade de campo, para que as reações químicas ocorressem, sendo que ao LVd acrescentou-se 120 ml de água destilada e ao RQo 60 ml. Ao final, as parcelas que continham LVd pesava 430g (120ml de água destilada + 300g de solo + 10g do peso do copo) e as parcelas de RQo pesava 370g (60ml água destilada + 300g de solo + 10g do peso do copo). Com o conhecimento destes valores foi possível monitorar a perda de água para o ambiente em cada parcela através de simples pesagem. Assim, até o término dos 90 dias do experimento, os tratamentos foram mantidos na capacidade de campo, completando-se com água destilada o peso perdido, e mantendo, portanto o peso inicial.

Em ambos os solos, aos 45 dias de incubação, foram retiradas amostras dos recipientes plásticos, as quais foram secas e peneiradas. Nos solos foram determinados o Si solúvel pelos métodos de extração em ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e  $\text{CaCl}_2 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004). As análises de pH em  $\text{CaCl}_2 0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , Ca e Mg trocáveis foram realizadas segundo metodologia da EMBRAPA (1999). Ao final dos experimentos, 90 dias após o início da incubação, o solo foi novamente analisado em relação às mesmas variáveis.

Os resultados obtidos foram submetidos a análises estatísticas realizadas com o auxílio do programa SISVAR®. Para as doses crescentes de Wollastonita (0, 200, 400 e  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si) foi feita a análise de regressão e posteriormente foi feita a análise do desempenho das escórias, avaliando-se as 6 fontes ( 5 escórias e a Wollastonita), as duas doses de cada fonte ( $200$  e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si) e os dois tipos de solo (LVd e RQo), cuja média das doses foi avaliada pelo teste de Scott\_Knott a 0,05 de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Disponibilidade de Si no solo

A aplicação de Wollastonita proporcionou aumentos lineares nos teores de Si extraídos com cloreto de cálcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  nos dois solos (Figura 1) tanto aos 45 quanto aos 90 dias (Figura 1 – A e B), concordando com Vidal (2003), Ramos (2005) e Queiroz (2003). Pereira et al., (2007) utilizando a Wollastonita em solos com características semelhantes, observou o mesmo comportamento da fonte padrão. Esses dados demonstram a solubilidade da Wollastonita disponibilizando Si em solução.

A quantidade de Si Solúvel no Latossolo foi superior a do Neossolo (Figura 1). São encontrados valores maiores em função do próprio solo antes da adição de Wollastonita já se encontrar com maiores valores de Si em sua composição, como pode ser observado na tabela 4. Na caracterização química dos solos, o Latossolo (LVd) encontrava-se com o dobro da quantidade de Si contida no Neossolo (RQo).

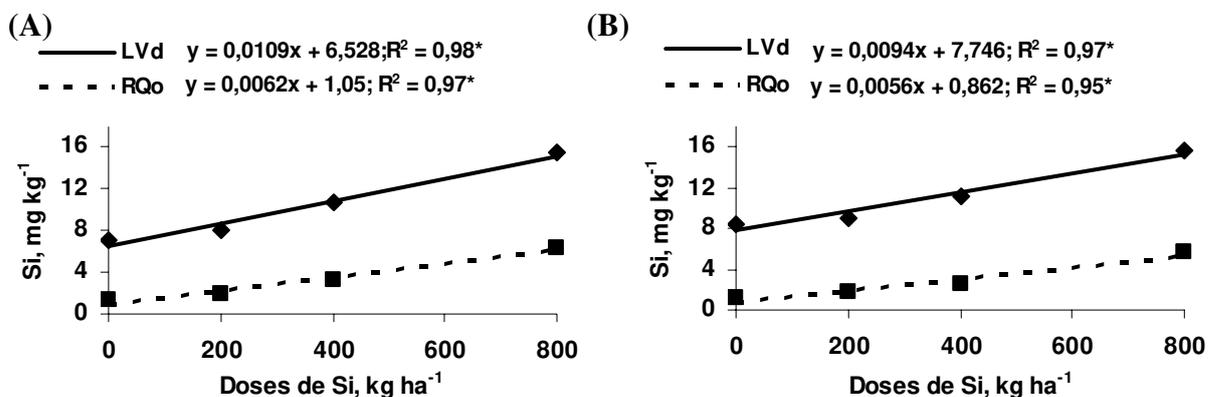


Figura 1. Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 45 (A) e 90 (B) dias de incubação.

Quanto aos teores de Si extraídos com ácido acético  $0,5 \text{ N}$ , percebe-se um aumento do nível de Si encontrado no solo, com as crescentes doses de Wollastonita aplicadas (Figura 2 – A e B). Os valores de Si nos solos extraídos com ácido acético, são maiores que aqueles encontrados quando extraídos com cloreto de cálcio, concordando com os resultados obtidos

por Martins (2004) e Camargo et al. (2005). Pereira et al. (2004), explica que o Ácido acético pode solubilizar silício não disponível para as plantas, isto é, Si extraído de argilo-minerais ou provenientes da aplicação residual de silicatos que ainda não reagiram no solo.

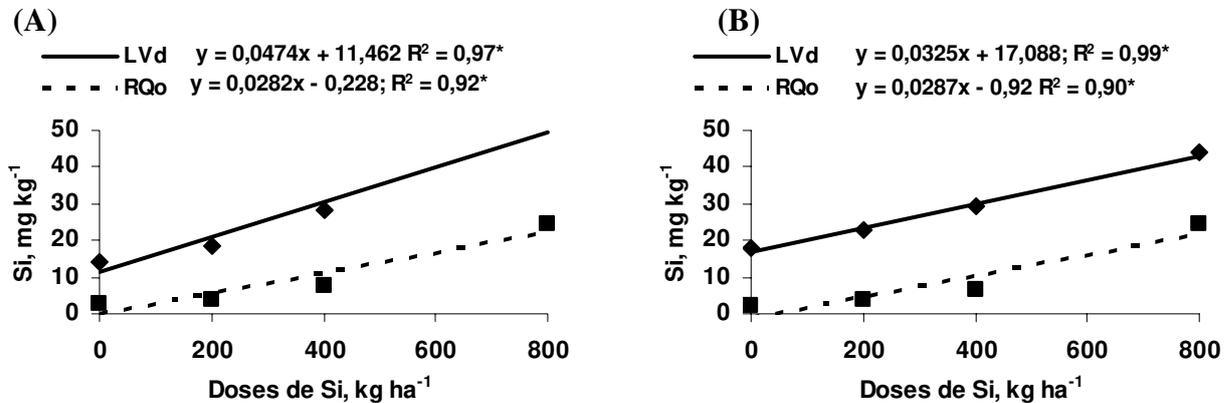


Figura 2. Teores de Si no solo, extraídos em ácido acético, após 45 (A) e 90 (B) dias de incubação, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) e em um Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQo), em função da aplicação de doses de Wollastonita.

#### 4.1.1 Avaliação das Escórias como fonte de Si

Com a análise das médias das doses (200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) realizadas aos 45 e aos 90 dias, e em ambos os solos, é possível perceber a superioridade das Escórias I, II e III em relação às demais IV e V, em disponibilizar silício ao solo. As escórias I, II e III são mais reativas até que o próprio padrão (Wollastonita) (Tabela 7).

A comparação entre os teores de Si solúvel aos 45 e aos 90 dias mostra que praticamente toda reação das escórias aconteceu nos primeiros 45 dias, visto que a maioria dos valores observados aos 90 dias são menores ou iguais àqueles observados na primeira análise. Isso demonstra que essas escórias apresentam em sua composição silicato de alta reatividade, ou seja, disponibilizam rapidamente o Si para que possa ser absorvido e aproveitado pelas culturas.

Tabela 7. Teores de Si no solo, extraídos com  $\text{CaCl}_2$  ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), após 45 e 90 dias de incubação para os dois tipos de solos.

Fonte	RQo		LVd	
	Média das doses			
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	----- Teores de Si ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) -----			
Wollastonita	2,6 b A	2,2 b A	9,4 b A	10,0 b A
Escória I	3,8 a A	3,4 a A	11,2 a A	11,1 a A
Escória II	3,6 a A	3,2 a A	10,4 a A	10,8 a A
Escória III	3,9 a A	3,5 a A	10,8 a A	10,8 a A
Escória IV	2,6 b A	2,2 b A	9,1 b A	10,0 b A
Escória V	3,3 a A	2,6 b B	9,1 b A	9,2 b A

Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha, não distinguem entre si (Scott\_Knott 5%)

A análise de Si em Ac. Acético apresentou a mesma tendência tanto no Neossolo (RQo) quanto no Latossolo (LVd). Ou seja, todas as escórias, de uma maneira geral, continham maiores, ou no mínimo iguais, teores de Si no solo em comparação à Wollastonita (Tabela 8).

Na extração realizada com Ácido Acético (Tabela 8), maiores valores de Si podem ser observados quando comparados à extração com Cloreto de Cálcio (Tabela 7), confirmando a capacidade do extrator Ácido acético, ao liberar o Si dos argilo-minerais, conforme mostrado por Pereira et al. (2004).

Tabela 8. Teores de Si no solo, extraídos com Ac. Acético ( $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), após 45 e 90 dias de incubação para os dois tipos de solos.

Fonte	RQo		LVd	
	Média das doses			
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	----- Teores de Si ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) -----			
Wollastonita	5,85 c A	5,0 c A	23,5 b A	25,9 c A
Escória I	84,8 a A	90,8 a A	83,0 a A	77,1 a A
Escória II	58,0 a A	52,7 b A	57,4 a A	57,3 b A
Escória III	65,1 a A	62,8 b A	53,0 a A	54,2 b A
Escória IV	27,4 b A	30,1 c A	54,1 a A	33,5 c B
Escória V	43,3 b A	45,1 b A	68,1 a A	71,6 a A

Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não distinguem entre si (Scott\_Knott 5%)

## 4.2 Teores de Ca e Mg no solo

Comparando-se as médias das doses aplicadas, verifica-se que os teores de Ca trocáveis nos solos aumentaram conforme a elevação das doses de Wollastonita (Figura 3). A quantidade disponibilizada foi significativamente alta devido à porcentagem relativamente boa de óxido de cálcio na composição da Wollastonita (30% CaO), conforme pode ser observado na tabela 3. Os valores aos 45 e aos 90 dias praticamente se mantiveram, confirmando a rápida disponibilidade deste nutriente ao solo.

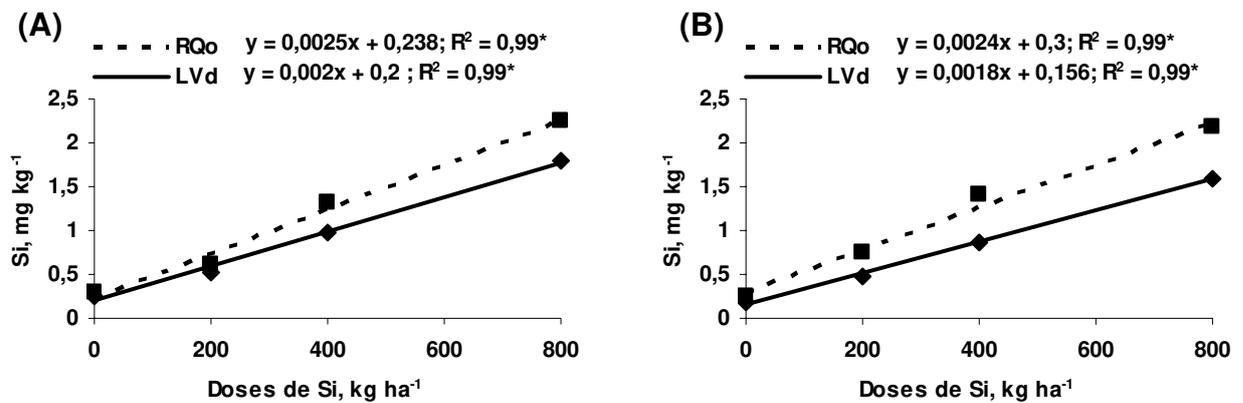


Figura 3. Teores de Ca no solo extraído com KCL 1 mol L<sup>-1</sup>, aos 45 (A) e 90(B) dias após o início da incubação no Neossolo Quartzarênico órtico típico(RQo) e no Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd).

Quanto aos teores de Mg (Tabela 9), a análise de regressão não deu resultado significativo, como era de se esperar, uma vez que a Wollastonita praticamente não possui óxido de Mg em sua composição (Tabela 3).

Tabela 9. Teores de Mg extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> aos 45 e 90 dias do início da incubação para o Neossolo Quartzarênico órtico típico(RQo) e para o Latossolo Vermelho distrófico típico(LVd).

Tratamentos	RQo		LVd	
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	.....Teores de Mg (Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ).....			
Testemunha	0,17	0,14	0,18	0,17
Wollastonita 200 kg ha <sup>-1</sup>	0,16	0,13	0,17	0,15
Wollastonita 400 kg ha <sup>-1</sup>	0,16	0,14	0,19	0,16
Wollastonita 800 kg ha <sup>-1</sup>	0,16	0,14	0,18	0,14
	N.S	N.S	N.S	N.S

N.S. Não significativos para análise de Regressão a 0,05 de significância.

#### 4.2.1 Avaliação das Escórias como fonte de Ca e Mg

Os teores de Ca e Mg nas escórias e na Wollastonita, refletem a baixa ou alta concentração destes nutrientes na composição dos materiais e/ou sua capacidade de liberação ao solo. Comparando-se a média entre as doses, observa-se que os teores de Ca aos 45 e aos 90 dias são maiores nos solos onde foram fornecidas as fontes de Wollastonita e de Escórias I, II e III (Tabela 10).

Os teores de Ca trocável no solo seguiram as mesmas tendências de Si solúvel, mostrando que as escórias I, II e III continuam sendo superiores também no fornecimento deste nutriente ao solo (Tabela 10).

Quanto ao teor de Magnésio todas as escórias em ambos os solos, se mostraram superiores ao padrão (Tabela 11) devido à baixa quantidade de Mg na composição da Wollastonita (Tabela 3).

Os nutrientes (Ca e Mg) são prontamente liberados para a solução do solo já nos primeiros 45 dias. Uma vez que valores bem próximos podem ser observados nas duas épocas avaliadas (Tabela 10 e 11).

Tabela 10. Teores de Ca, 45 e 90 dias após o início da incubação, para os dois tipos de solos.

Fonte	RQo		LVd	
	Média das doses			
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
Wollastonita	1,0 a A	1,4 a A	0,7 b A	0,7 b A
Escória I	1,2 a A	1,3 a A	1,1 a A	1,0 a A
Escória II	1,1 a A	1,1 a A	0,9 a A	0,8 b A
Escória III	1,2 a A	1,3 a A	1,0 a A	1,0 a A
Escória IV	0,6 b A	0,6 b A	0,5 c A	0,4 c A
Escória V	0,7 b A	0,7 b A	0,4 c A	0,3 c B

Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não distinguem entre si (Skott\_Knott5%)

Tabela 11. Teores de Mg, 45 e 90 dias após o início da incubação, para os dois tipos de solo.

Fonte	RQo		LVd	
	Média das doses			
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
Wollastonita	0,1 b A	0,1 b A	0,2 b A	0,1 b A
Escória I	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A
Escória II	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A
Escória III	0,4 a A	0,4 a A	0,3 a A	0,3 a A
Escória IV	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A	0,3 a A
Escória V	0,4 a A	0,4 a A	0,3 a A	0,2 a A

Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não distinguem entre si (Skott\_Knott 5%)

### 4.3 Correção da acidez do solo

A Figura 4 mostra que o incremento nas doses de Wollastonita proporcionou aumento no pH do solo. A presença do silicato ( $\text{SiO}_3^{-2}$ ) é capaz de neutralizar os próton ( $\text{H}^+$ ) segundo a equação descrita por Alcarde (1992). Quanto maior a dose de silicato aplicada maior o pH do solo (Korndorfer et al., 2002). Semelhante trabalho foi realizado por Araújo (2007) onde a Wollastonita apresentou igual comportamento corretivo em solos com características semelhantes. Faria (2000) também constatou aumento linear nos valores de pH em decorrência do uso de doses crescentes de silicato de cálcio utilizados.

A correção do pH foi maior no solo arenoso (RQo) se comparado com o argiloso (LVd) (Figura 4 – A e B), devido ao menor poder tampão do solo arenoso, ou seja, neste solo é necessário menor quantidade de corretivo para elevar uma mesma unidade de pH.

Pereira et al. (2007) observou que no RQo, as variações de pH foram maiores, devido ao menor poder tampão deste solo, com alto teor de areia e baixo teor de óxidos e de matéria orgânica.

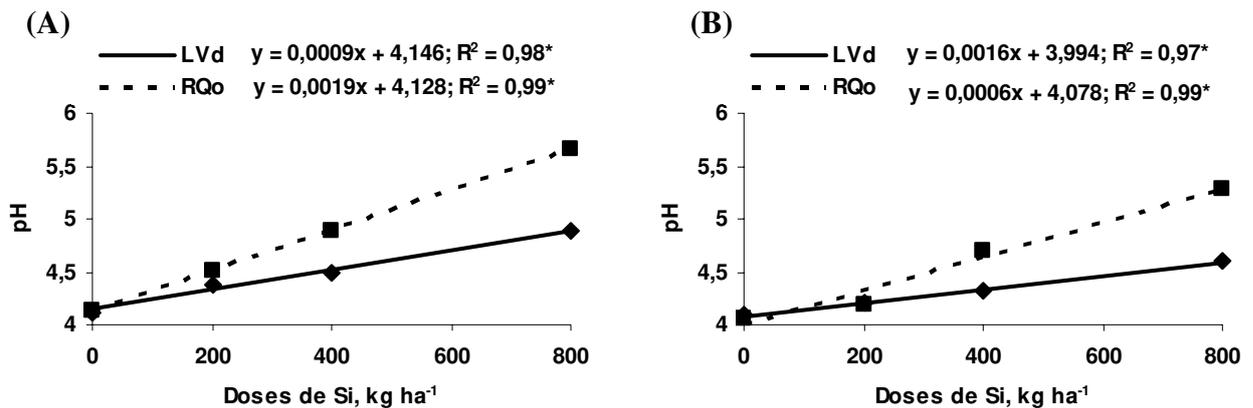


Figura 4. pH do solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Latossolo (LVd) e em um Neossolo (RQo), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 45 (A) e 90 (B) dias de incubação.

#### 4.3.1 Avaliação das Escórias como corretivos de acidez

No Neossolo Quartzarênico órtico típico, nas duas épocas avaliadas, as escórias que se destacaram no fornecimento de nutrientes (Si e Ca) foram as mesmas que se destacaram na capacidade de neutralizar a acidez do solo, ou seja, de elevar o pH. Mostrando mais uma vez a maior reatividade no solo das Escórias I, II e III (Tabela 12).

O mesmo pode ser observado na análise realizada aos 90 dias no Latossolo Vermelho distrófico típico, onde novamente as Escórias I, II e III se mostraram superiores às demais (IV e V) e ao padrão (Wollastonita) (Tabela 12).

Os valores de pH praticamente não se modificaram entre 45 e 90 dias após incubação o que indica que a reação dos silicatos já esteja estabilizada (Tabela 12).

Tabela 12. pH em CaCl<sub>2</sub> (0,01 mol L<sup>-1</sup>), após 45 e 90 dias de incubação para os dois tipos de solos.

Fonte	RQo		LVd	
	Média das doses			
	45 dias	90 dias	45 dias	90 dias
	----- pH-----			
Wollastonita	4,7 a A	4,4 b A	4,4 b A	4,3 b A
Escória I	4,9 a A	4,8 a A	4,7 a A	4,5 a B
Escória II	4,9 a A	4,7 a A	4,5 b A	4,5 a A
Escória III	5,0 a A	4,9 a A	4,8 a A	4,6 a A
Escória IV	4,3 b A	4,2 b A	4,7 a A	4,3 b B
Escória V	4,4 b A	4,4 b A	4,4 b A	4,3 b A

Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não distinguem entre si (Scott\_Knott 5%)

## **5 CONCLUSÕES**

As fontes mais eficientes em disponibilizar Si, Ca e Mg e corrigir o pH do solo foram as Escórias I, II e III.

São escórias de alta reatividade, disponibilizando prontamente os nutrientes na solução do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez dos solos**. Características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, Boletim Técnico: 6. 26 p. 1992.
- 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.
- AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: Efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p. 299-304. 1993.
- ANDERSON, D.L; BOWER, J.E. **Nutrição da cana-de açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 1992. 40p.
- ARAÚJO, L.S. **Uso da “Escória transformada” como corretivo de acidez do solo e fonte de silício, cálcio e magnésio**. 2007. 27f. Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- 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.
- CAMARGO, M. S.; PEREIRA, H.S. ; QUEIROZ, A. A.; REIS, C. B.; KORNDORFER, G. H. Disponibilidade de silício de diversos materiais para a cultura do arroz avaliada por diferentes extratores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** 2005. v. 1. p. 1-4.
- CRUSCIOL, C.A.C; PUPATTO, J.G.C., BULL, L.T. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v.39, n.12, p.1213-1218, dez. 2004.
- 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.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125f. Dissertação (Mestrado)- Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.
- FIORI, M. P. **Comportamento de cultivares de tomateiro quanto à utilização de escórias siderúrgicas em ambiente protegido**. 2006. 54f. Monografia (Graduação em agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Marília - UNIMAR, Marília, SP, 2006.

KLUGER, V. P. Utilização de escória de aciaria LD para agricultura - uma visão geral. I SEMINÁRIO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE DESCARTES DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA. Salvador. **Anais...**, 1989.

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.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2002. 23 p. (Boletim Técnico, 01).

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura**. 2.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2003. 22 p. (Boletim Técnico, 01).

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de Cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 01).

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.

MARTINS, M.R. **Efeito corretivo de alguns silicatos e carbonatos e disponibilidade de silício no solo**. 34f Monografia (Graduação em agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

MEDINA-GONZALES, O. A.; FOX, R. L.; BOSSHART, R. P. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. **Fertilizer Research**, The Hague, v.16, n.1, p.3-13, 1988.

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.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P.; TEIXEIRA, J.L.; LEAL, P.G.L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 110p.

OLIVEIRA, A.C.; HAHNE, H.; BARROS, N.F.; MORAIS, E.J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, p. 77-96, 1994.

PEREIRA H.S., QUEIROZ, A.A., MARTINS, M.R., CAMARGO, M.S., KORNDORFER, G.H. Potencial de uso de agregados siderúrgicos e outras fontes de silício em quatro materiais de solo fase cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 17-31, July./Sept. 2007

PEREIRA, H. S.; KORNDÖFER, G. H.; VIDAL, A. A, CAMARGO, M. S. Silicon sources for the rice plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 5, p. 522-528, 2004.

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.

PIAU, W.C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizantes**. 1991. 99f. Dissertação (Mestrado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

PRADO, R. M. ; FERNANDES, F. M. ; NATALE, W. . Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 287-296, 2003.

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.

PRADO, R. M. ; NATALE, W. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia ferrocromo no solo, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, 2004 .

PRADO, R. M.; CORREA, M.C.M.; CINTRA, A. C. O. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, 2003.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba,v.18,p.36-39, 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).

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. **Suelos ácidos**: estratégias para su manejo com bajos insumos en America tropical. Bogotá: SCCS, p 93.1983.

TAKAHASHI, E. MA; J.F. MIYAKE Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**, Tokio, v.2, p. 99-122, 1990.

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