

VINICIUS DE MOURA SANTOS

**POTENCIAL DA ESCÓRIA SILICATADA NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO
SOLO EM PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

VINICIUS DE MOURA SANTOS

**POTENCIAL DA ESCÓRIA SILICATADA NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO
SOLO EM PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de abril de 2009.

Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes
(Co-orientador)

Prof. José Eustáquio de Souza Carneiro

Prof. Moacil Alves de Souza

Prof. Fábio Ribeiro Pires

Prof. Caetano Marciano de Souza
(Orientador)

Aos meus pais José Demerval e Maria,
Aos meus irmãos Débora e Fabrício,
À minha noiva Analine

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o curso de graduação em Agronomia e o Mestrado em Fitotecnia;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos;

Ao professor Caetano Marciano de Souza, pela orientação, conselhos, amizade e ensinamentos acadêmicos, profissionais e pessoais;

Ao professor João Carlos Cardoso Galvão, pelas contribuições, aconselhamentos, amizade;

Ao professor Maurício Paulo Ferreira Fontes, pelas contribuições e seriedade;

Ao professor Paulo Roberto Cecon, pela ajuda na execução das análises estatísticas;

Aos professores José Eustáquio de Souza Carneiro, Moacil Alves de Souza e Fábio Ribeiro Pires (UFES) pelas valiosas contribuições a este trabalho e pela amizade;

Ao Júlio (Mozinho), por toda ajuda durante os trabalhos e pelos clássicos dos domingos de manhã pelo Coisa Linda Futebol Show;

Aos funcionários da Agronomia e da Estação Experimental de Coimbra pela fundamental ajuda;

Ao pessoal do Agrosilício, em especial Alcides e Eduardo, pelo apoio financeiro e sugestões ao trabalho;

À Coopadap pelo fornecimento das sementes de trigo;

À Cultivar pelo fornecimento das sementes de milho;

Aos estagiários Pedro, Bruno Flash, Bruno Bronquinha, Geraldão e Alberto, pela ajuda, companheirismo e amizade;

Aos meus colegas do Mestrado em Fitotecnia, pela companhia agradável nas aulas e fora da universidade;

Aos colegas da Metalsider Ltda, que me receberam de braços abertos.

Aos meus pais Maria de Moura Santos e José Demerval Santos, pelo apoio e confiança sempre em mim depositados. A eles dedico todas as minhas vitórias e realizações;

Aos meus avós, tios e primos que, apesar da distância, sei que sempre me mandaram pensamentos positivos;

Aos amigos de Dourados (MS), Guilherme, Guto, Bocão, Frederico, Neto, Humberto, Natália, Iara e Ju, entre outros dos quais nunca esquecerei;

Aos “craques” das peladas de sexta à tarde na Rua Nova, o famoso FUT-600, em especial Alessandro Drogba, Thales, Joãozinho, Joélsio, Piacenti, Ricardo Caloro (Venças), Lucas canelinha de sabiá, Sávio, Gaúcho, Paulo Verardo, Júlio Peter Crouch, Ednaldo, Maceió, Marco “Trator” Antônio e Adelson.

À República Os Mulambo e todos os grandes amigos feitos em Viçosa e que ficarão guardados num lugar especial dentro do peito pro resto da vida: Luís Patrão, Eiti, Pomarola, Belezinha, Gaúcho, Panda, Ceará, BG, Caê, Léo Vergutz, Fabrício, Coveiro, Márcio, Lucão, Steve, Bruno, Cafu, Burrão, Cristiano.

A minha noiva Analine, que me acompanhou nos últimos passos desta caminhada e a quem escolhi para estar ao meu lado nos próximos desafios;

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que eu pudesse chegar aqui.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

Vinicius de Moura Santos, filho de José Demerval Santos e de Maria de Moura Santos, nasceu no dia 22 de agosto de 1982 na cidade de Fátima do Sul, MS.

Finalizou o ensino médio em Dourados, MS em 1999.

Iniciou a graduação em Agronomia na Universidade Federal de Viçosa em março de 2000, tendo graduado-se em maio de 2006.

Em julho de 2006 iniciou o mestrado em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Desde 2008 atua na Metalsider Ltda, em Betim, MG.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Utilização das Escórias Silicatadas Como Corretivos de Acidez do Solo.....	4
2.2. Correção da acidez no perfil do solo no Sistema Plantio Direto.....	7
2.3. Efeitos das escórias silicatadas e do silício em culturas de interesse agrônômico.....	8
2.4. Metais pesados.....	11
2.5. Escórias silicatadas e o meio ambiente.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Avaliação da mobilidade da escória silicatada e do calcário dolomítico no solo.....	17
3.2. Implantação das culturas de interesse agrônômico.....	19
3.3 Análise estatística.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1. Mobilidade no solo da escória silicatada e do calcário dolomítico.....	21
4.2. Efeitos da Escória Silicatada e do Calcário Dolomítico sobre as culturas de interesse agrônômico.....	26
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

RESUMO

SANTOS, Vinicius de Moura, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2009.

Potencial da escória silicatada na correção da acidez do solo em plantio direto.

Orientador: Caetano Marciano de Souza. Co-Orientadores: João Carlos Cardoso Galvão, Maurício Paulo Ferreira Fontes e Paulo Roberto Cecon.

A correção da acidez do solo em sistemas onde não há incorporação de calcário é um obstáculo ainda a ser vencido na agricultura. As escórias silicatadas, cerca de 6,8 vezes mais solúveis que os calcários, poderiam, por sua maior solubilidade, se deslocar em maior profundidade no solo e assim corrigir a acidez do solo em camadas mais profundas. Este trabalho teve como objetivos avaliar a mobilidade no solo de escória silicatada em comparação ao calcário dolomítico sem incorporação em plantio direto, além de verificar a influência dos mesmos sobre a produtividade de milho e trigo e a severidade de doenças foliares do milho. Para tanto, foi realizado um trabalho em uma área com plantio direto estabelecido há mais de 20 anos. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições e 3 tratamentos, que consistiram na aplicação de escória silicatada, calcário e testemunha, ou seja, sem a aplicação de corretivos de acidez do solo. Para avaliação da mobilidade dos corretivos, utilizaram-se ainda subparcelas e subsubparcelas, correspondentes às profundidades estudadas e às datas de amostragem, respectivamente. A escória silicatada mostrou-se mais eficiente que o calcário dolomítico em elevar o pH e os teores de Ca^{2+} e reduzir os teores de Al^{3+} no perfil do solo. Além de promover melhorias nos atributos relacionados à acidez do solo mais rapidamente que o calcário, a escória elevou significativamente o pH até a camada de 15 a 20 cm já aos 180 dias após a aplicação dos produtos. O calcário, por sua vez, foi eficiente em elevar o pH a, no máximo, 15 cm de profundidade, mesmo 360 dias após a aplicação dos tratamentos. A produção de grãos de milho e trigo não foi influenciada pela correção da acidez, tampouco pelo corretivo utilizado. A aplicação de silício ao solo por meio da escória silicatada não reduziu a severidade de doenças foliares na cultura do milho. As escórias silicatadas são mais eficientes em corrigir a acidez do solo

em profundidade e, portanto, são mais tecnicamente indicadas que os calcários em plantio direto.

ABSTRACT

SANTOS, Vinicius de Moura, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2009.

Slag potential in soil acidity correction under no-tillage. Adviser: Caetano Marciano de Souza. Co-Advisers: João Carlos Cardoso Galvão, Maurício Paulo Ferreira Fontes and Paulo Roberto Cecon.

The soil acidity correction under no-tillage systems is a barrier to be beaten in agriculture. The slag, 6,8 times more soluble than lime, could, because of its better solubility, dislocate in deeper soil layers and correct soil acidity there. This work had as objectives to evaluate the mobility in the soil layers of slag in a comparison with lime under no-tillage and to verify the influence of both of them on corn and wheat yield and to assess the leaf diseases severity of corn. This experiment was installed on a 20 years old no-tillage area. It was carried out in a randomized block design, with 4 blocks and 3 treatments, consisted of slag and lime application and a control without application. Correctives mobility evaluation was made with a subplot of the treatments in soil layers and dates. The slag was more efficient than lime in increasing pH and Ca^{2+} concentration and reducing Al^{3+} concentration in soil layers. Besides the promotion of improvement in soil attributes related to acidity faster than lime, slag improved significantly pH at the 15 to 20 cm soil layer at 180 days after the products application. Lime was efficient in improve pH only at no more than the 10 to 15 cm layer, even 360 days after the products application. The corn and wheat yield was not influenced by the soil acidity correction, neither by the corrective used. The silicon application by the slag did not reduce the leaf diseases severity in corn. Slag is more efficient to correct soil acidity in deep soil layers than lime under no-tillage.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico mundial e o avanço tecnológico e industrial têm proporcionado maior acesso das pessoas a diversos bens da vida moderna. Como consequência a produção de resíduos industriais, domésticos e de qualquer outra natureza tem aumentado consideravelmente. Este aumento pode ser observado em todos os países do mundo, independentemente do seu grau de desenvolvimento. Portanto, torna-se necessário desenvolver e executar tecnologias para que se possam destinar os resíduos de maneira adequada, quaisquer que sejam suas naturezas. Hoje, uma grande gama de subprodutos das atividades industriais tornou-se inclusive fonte de divisas para as empresas pela possibilidade de uso destes resíduos em diversas atividades econômicas.

O resíduo siderúrgico praticamente não é utilizado na agricultura brasileira, contrariamente ao que se nota em outros países, como no Japão. Isto, possivelmente, deve-se aos poucos dados experimentais obtidos no Brasil, em comparação com outros países (Prado & Fernandes, 2000) e pela tradição de uso de corretivos e fertilizantes já consagrados no mercado. Alguns pesquisadores têm se dedicado a trabalhar com escórias, mas ainda há muito a se saber sobre os efeitos destes resíduos em solos brasileiros e para as culturas de interesse agrônomo do país.

Sabe-se que uma alternativa viável para a destinação final de alguns resíduos da atividade industrial é o seu emprego na agricultura. Por exemplo, a escória silicatada, gerada na produção de aço inox, em função da sua composição química, pode se constituir fonte de vários nutrientes para as plantas além de ser um corretivo da acidez do solo, que pode substituir os tradicionais calcários. Na Europa, no século XIX as escórias de aciaria, apesar de usadas em larga escala, eram inadequadas para uso agrícola principalmente pela presença de metais pesados. Hoje, esses resíduos são tratados e beneficiados por processos físicos, através dos quais elementos como o cobre e o níquel são recuperados. O tratamento e o beneficiamento diminuem o risco de contaminação por metais pesados quando a escória resultante é aplicada ao solo (Machado, 2000; Roque et al., 2006).

Segundo Machado (2000) e Prado et al. (2002a), no início deste século, a quantidade de escória de siderurgia e de aciaria produzida anualmente no Brasil era cerca de três milhões e quatro milhões de toneladas, respectivamente. Hoje, a produção de escória de siderurgia passa dos seis milhões de toneladas por ano (Madeiros et al., 2008). No processo de produção siderúrgico, o calcário, o minério de ferro e o coque ou carvão são aquecidos a 1.900°C, promovendo a redução do ferro e a produção de compostos indesejáveis (material inerte do minério e do carvão), que não foram reduzidos. Estes se combinam com Ca e Mg do calcário, dando origem à escória (Pereira, 1978). Portanto, a escória apresenta constituintes neutralizantes e bases como Ca e Mg (Alcarde, 2005), e é também fonte de silício, o que pode influenciar na eficiência de aproveitamento dos fertilizantes fosfatados (Prado & Fernandes, 1999), entre outras vantagens.

O teor de Si total das escórias no Brasil varia conforme o tipo, sendo que a escória proveniente de aciaria possui entre 12 a 22 dag kg⁻¹, enquanto a escória de alto-forno, entre 36 a 42 dag kg⁻¹ (Piau, 1995).

Os silicatos de cálcio e magnésio, principais constituintes das escórias silicatadas, apresentam efeito corretivo da acidez do solo similar aos calcários. Além da qualidade como corretivos de acidez do solo apresentam qualidade fertilizante em virtude de possuírem macronutrientes (cálcio e magnésio), micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio) e o silício, considerado como um elemento benéfico para as plantas. As escórias silicatadas, apresentam algumas vantagens em relação aos calcários dolomíticos, como maior solubilidade em água, não liberação de CO₂ (gás carbônico) para a atmosfera e presença de silício, elemento este relacionado a aumentos de produtividade para várias culturas em função de proporcionar maior resistência a doenças e pragas, manter as folhas mais eretas e aumentar a resistência à perda de água. Além disso, a presença do ânion silicato compete com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção no solo, o que resulta em liberação de fósforo para as plantas (Prado & Fernandes, 1999).

O uso de sistemas de cultivo que se caracterizam pela redução do revolvimento do solo na agricultura, como o sistema plantio direto e o cultivo mínimo, é considerado um avanço na conservação do solo e da água com reflexos positivos na conservação ambiental e de recursos econômicos. Um dos maiores entraves deste sistema é a correção da acidez do solo que, para manter os benefícios advindos do plantio direto, deve ser superficial. Sendo os carbonatos pouco solúveis e pouco móveis no solo, não fazem uma boa correção da acidez em profundidade. Essa correção superficial pode ser

um problema para a maioria das culturas de interesse econômico que se conhece, visto que as raízes destas plantas não se aprofundam no solo ao encontrarem impedimento químico, como a acidez e a conseqüente presença do Al^{3+} .

O uso do gesso como condicionador de solo tem sido difundido e adotado por muitos produtores rurais. O gesso agrícola é um resíduo da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio. A aplicação de gesso na superfície seguida por lixiviação para o subsolo ácido resulta em melhor desenvolvimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas em decorrência do aumento da concentração de Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} (Carvalho & Raij, 1997; Alvarez et al., 1999; Vitti, 2000; Caires et al., 2004). Porém, para a aplicação deste produto, uma operação a mais deve ser realizada na área, o que significa maior custo com combustível, mão-de-obra, máquinas e com o próprio resíduo (incluindo transporte até a propriedade).

Por outro lado, os silicatos, 6,78 vezes mais solúveis que os carbonatos (Alcarde, 2005), poderiam se deslocar em maior profundidade dissolvidos na água, corrigindo assim maior volume de solo quanto à acidez, sem a necessidade do uso de condicionadores.

O milho e o trigo são espécies de interesse agrônomo amplamente cultivadas em diversos países em todos os continentes. Ocupam respectivamente o primeiro e segundo lugar no mundo em área plantada e produção. Ambas são gramíneas, família que engloba as espécies vegetais que apresentam melhores respostas à aplicação de silício, com ganhos de produtividade, maior resistência a pragas e doenças e maior eficiência fotossintética, entre outras vantagens.

Neste trabalho pesquisou-se a possibilidade de se aplicar as escórias silicatadas na superfície do solo, partindo da premissa que sua maior solubilidade resultasse em maior mobilidade no perfil do solo, possibilitando sua recomendação para uso em sistemas de cultivo mínimo do solo, em especial o plantio direto. Para tanto foram estudadas a correção da acidez e a elevação dos teores de Ca e Mg no perfil do solo e os efeitos da escória em algumas características agrônomicas de milho e trigo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Utilização das Escórias Silicatadas Como Corretivos de Acidez do Solo

Solos ácidos, comuns em regiões tropicais, limitam a produção agrícola. A aplicação de corretivos é a prática mais comum para elevar o pH, teores de Ca e Mg e saturação por bases e reduzir Al trocável no solo.

Os materiais comumente usados na correção da acidez dos solos são aqueles que contêm como “constituente neutralizante” ou “princípio ativo”, óxidos, hidróxidos, carbonatos ou silicatos de cálcio e/ou magnésio (Bellingieri, 1983). Nessa categoria estão os materiais calcários, que apresentam os carbonatos de cálcio e/ou magnésio como “princípio ativo”, denominados de corretivos, e que predominantemente são usados em razão de sua frequência e abundância. A tendência atual, todavia, é de se tornar cada vez mais difícil e onerosa para o agricultor a obtenção de calcário, em virtude de sua utilização em setores industriais mais lucrativos, como na fabricação de cimento, na siderurgia e na construção civil, além de possíveis entraves de ordem ambiental, visto que a forma de obtenção dos calcários é significativamente agressiva à natureza.

Com relação à eficiência dos materiais calcários na correção do solo, pode-se dizer que a baixa solubilidade em água faz com que a velocidade de neutralização da acidez dependa de fatores como temperatura, umidade e grau de acidez do solo, grau de mistura do calcário com o solo, teor de cálcio e magnésio nos corretivos e época de aplicação dos mesmos (Volkweiss, 1989). O grau de finura também é importante, principalmente em virtude da baixa solubilidade. Desta forma Malavolta (1985) recomenda a aplicação de calcário, três a seis meses antes da semeadura. Uma antecedência menor é recomendada para o calcário tipo “filler”, para a cal virgem (CaO) e para a cal apagada Ca(OH)_2 ; e um período de até dois a três anos é requerido para materiais de granulometria grosseira, para atingirem sua maior eficiência. Para outros materiais, estas recomendações serão outras, principalmente em virtude da solubilidade diferente.

Além dos calcários, outros materiais vêm sendo utilizados como opção para a correção da acidez do solo. Resíduos como as escórias de indústrias siderúrgicas, lamas originadas da produção de celulose e papel, lodos diversos e cinzas são exemplos de materiais que podem ser utilizados como corretivos de acidez do solo em função de suas características químicas e físicas (Bellote et al., 1994; Lourenço, 1997; Castilhos, 1998; Ferreira et al., 2003; Barbosa Filho et al., 2004; Prado et al., 2004; Alcarde, 2005). A agricultura se desenvolve em vastas áreas e tem potencial para absorver, se não em sua totalidade, grande parte desses resíduos produzidos involuntariamente pela atividade humana.

A aplicação de resíduos no solo é conhecida desde tempos antes de Cristo. Efluentes, com o propósito de beneficiar a agricultura, foram usados na Alemanha já no século XVI depois de Cristo. Dessa época até hoje, a aplicação de efluentes no solo vem sendo praticada em diversos países como Inglaterra, África do Sul, Argentina, Israel, Índia, Hungria, Bélgica, Estados Unidos etc. (CETESB, 1984; Souza, 2002). No Brasil, no entanto, o uso de resíduos está muito aquém do potencial de absorção dos mesmos pela agricultura, principalmente se for considerada a grande produção destes no país.

Dentre os resíduos industriais com potencial de correção de acidez do solo, as escórias silicatadas são as mais estudadas e as que apresentam maior potencial de uso em função da relativa abundância e necessidade de destinação adequada das mesmas. Essas escórias, além de corrigirem a acidez do solo, fornecem silício às plantas, aumentam a disponibilidade de Ca e P e têm efeito positivo na produtividade agrícola (Korndörfer et al., 1999; Prado et al., 2002a). Além disso, a utilização de resíduos industriais na agricultura é uma importante ferramenta para conter desequilíbrios ecológicos causados por eles (Prado & Fernandes, 2001).

As escórias silicatadas, cujos componentes neutralizantes são os silicatos de cálcio e de magnésio e que se comportam semelhantemente aos calcários (Gomes et al., 1965), vêm sendo cada vez mais utilizadas com a finalidade de correção da acidez do solo e como fertilizante.

Alguns trabalhos mostram a eficiência das escórias silicatadas na melhoria dos atributos químicos do solo, como correção da acidez, elevação da saturação por bases, aumento nos níveis de Ca e Mg e redução da saturação por alumínio, entre outros (Prado & Fernandes, 2000; Ramos et al., 2006; Vilela et al., 2007). Estes autores inclusive evidenciam a possibilidade de substituição dos calcários por estes subprodutos.

Fortes (1993) testou duas escórias de alto-forno de fabricação de ferro-gusa como corretivo da acidez de dois Latossolos Vermelho-Amarelos de diferentes texturas e observou que estes materiais atuaram como corretivos, à semelhança de calcários.

Resultados semelhantes foram obtidos por Korndörfer et al. (1999). Em trabalho realizado em casa de vegetação com solos argilosos e arenosos da região do Triângulo Mineiro, estes autores verificaram que a aplicação do silicato de cálcio aumentou o pH e o Ca trocável, em todos os quatro tipos de solos avaliados. Ainda segundo estes autores, a elevação do pH é explicada pelo aumento na concentração de hidroxilas (OH⁻) no solo. Os teores de Ca no solo também aumentaram em função da composição do silicato (30% de Ca) e houve ainda elevação na saturação por bases e diminuição na saturação por alumínio.

Carvalho-Puppato et al. (2004) trabalharam em um Latossolo Vermelho distroférico com a aplicação de duas escórias, de alto-forno e de aciaria, em doses que representaram aplicação de 1.000 kg ha⁻¹ de Si. Estes autores concluíram que ambas as escórias contribuíram para aumento no pH e redução da acidez potencial (H+Al) no solo em relação à testemunha. Além disso, o solo que recebeu a escória de aciaria obteve incrementos significativos de Ca, Mg e Si em sua composição. As melhorias nos atributos químicos do solo não proporcionaram, no entanto, aumento de produtividade de grãos e de matéria seca da cultura do arroz no solo tratado com a escória de aciaria em relação ao solo testemunha.

Barbosa Filho et al. (2004) trabalharam em um Latossolo Vermelho distroférico com textura franco argilosa e concluíram que a aplicação de escória silicatada promoveu uma ação corretiva do solo, com conseqüente aumento das disponibilidades de silício, fósforo, cálcio trocável e na porcentagem de saturação por bases (V%). Resultado semelhante foi obtido por Madeiros et al. (2008) em trabalho no qual foi focado o estudo do efeito de escória de siderurgia sobre a disponibilidade de fósforo em um Argissolo Vermelho-Amarelo em casa de vegetação. Os autores concluíram que a aplicação de silício na forma de escória siderúrgica pode contribuir com a maior disponibilidade deste elemento e do fósforo para a solução do solo e, com isso, resultar em economia na aplicação desse elemento na agricultura, além de ser uma alternativa promissora para a disposição desse resíduo industrial.

Louzada (1987) concluiu que, quando se aplicam calcário e escória na mesma granulometria, as escórias demonstram uma eficiência na elevação do pH do solo semelhante ao calcário. Esse autor ainda relata que algumas escórias têm efeito

favorável de aumentar a disponibilidade de fósforo, provocado pela adição de silicato ao meio.

A elucidação das vantagens propiciadas pelo uso dos resíduos no que tange à conservação ambiental, diminuição de custos industriais com aterros, redução nos custos de manutenção de culturas, aumentos de produtividade e respostas positivas na qualidade de solos agricultáveis têm resultado em aumento na procura e uso das escórias industriais no Brasil.

2.2 – Correção da acidez no perfil do solo no Sistema Plantio Direto

Uma das possíveis vantagens da utilização da escória em relação aos calcários é a possibilidade de correção do solo em profundidades maiores, visto que a solubilidade do principal componente deste resíduo, o silicato de cálcio, é 6,78 vezes maior que a do carbonato de cálcio.

É importante salientar a dificuldade encontrada por produtores rurais brasileiros em corrigir a acidez do solo em profundidade com a utilização de calcários quando o manejo adotado em suas áreas é o plantio direto. Quando a acidez do solo não é adequadamente corrigida, o crescimento de raízes e a nutrição das plantas podem ser comprometidos. São conhecidas as limitações na produtividade agrícola causada por acidez no subsolo, resultantes de restrições no crescimento radicular e absorção de água e nutrientes pelas culturas (Sumner et al., 1986; Farina & Channon, 1988 Alvarez et al., 1999; Caires et al., 2002).

A aplicação de calcário em plantio direto raramente resulta em neutralização do Al e aumento de pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis em profundidade maior que 10 cm nos primeiros 12 meses após a operação, podendo ocorrer correção em maiores profundidades apenas em períodos superiores a 40 meses (Petrere & Anghioni, 2001; Gatiboni et al., 2003; Amaral et al., 2004; Alleoni et al., 2005).

Neto et al. (2000) confirmaram o exposto acima em seu trabalho com diferentes formas de aplicação de calcário para a correção da acidez de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. Estes autores concluíram que o modo de incorporação do corretivo no solo afeta a sua eficiência em relação à profundidade no perfil, na qual há neutralização da acidez, tendo ocorrido elevação da saturação por bases do solo até a camada de 20 cm, 15 cm e 10 cm, para os seguintes modos de incorporação: enxada rotativa, arado de discos ou grade aradora e arado escarificador ou calcário distribuído na superfície sem

incorporação. Portanto, efeitos significativos da aplicação superficial de calcário sem incorporação só ocorreram em 10 cm de profundidade.

O sistema plantio direto é hoje uma realidade e é cada vez maior a área cultivada sob este sistema no Brasil. Os benefícios desta prática estão relacionados à manutenção de características químicas e estruturais do solo, maior controle de erosão e economia nas operações de incorporação de calcário ao solo (Caires et al., 2003). No entanto, a correção da acidez em profundidade é ainda uma barreira a ser vencida no estabelecimento deste sistema.

Uma metodologia alternativa é a utilização de um equipamento para aplicação de corretivos em profundidade desenvolvido por Pires (2000) em sua Dissertação de Mestrado.

Outra alternativa na tentativa de se solucionar o problema do excesso de alumínio no solo em profundidade sem o revolvimento do mesmo é a utilização do gesso agrícola. Quando o gesso é aplicado superficialmente a um solo com subsolo ácido, ocorre lixiviação em excesso de umidade. O gesso agrícola é um sal pouco solúvel em soluções aquosas (2,5 g/L), mas que pode atuar sobre a força iônica da solução do solo, de maneira que haja contínua liberação do sal para a solução por longos períodos de tempo. A liberação do sal se dá através da formação de pares iônicos de bases trocáveis com o sulfato. Essa característica, aliada aos teores de Ca permite a correção de camadas subsuperficiais com altos teores de Al^{3+} e, ou, baixos teores de Ca^{2+} , com o objetivo de melhorar o ambiente radicular das plantas. Portanto, há um aumento na disponibilidade de cálcio e diminuição na toxidez por alumínio no subsolo (Sumner, 1995; Alvarez et al., 1999). Diversos são os resultados de efeitos favoráveis do gesso aplicado ao solo sem revolvimento, como observaram em seus trabalhos Sumner et al. (1986), Farina & Channon (1988), e Raij et al. (1998). Estes resultados comprovam que a correção da acidez do solo em maior profundidade é fundamental para se alcançar maiores rendimentos das culturas de interesse econômico.

2.3 – Efeitos das escórias silicatadas e do silício em culturas de interesse agronômico

Diversos autores têm trabalhado com escórias industriais no sentido de se conhecer melhor o efeito destes resíduos no solo e para culturas de interesse agronômico. As escórias de siderurgia são fontes de silício para as culturas. Deve-se ressaltar que o silício, segundo elemento em abundância na crosta terrestre, não é

considerado um elemento essencial para as plantas. No entanto, ele é tido como um elemento de efeito favorável para o crescimento e produção de algumas espécies, notadamente algumas gramíneas, principalmente por aumentar a disponibilidade do fósforo, aumentar a resistência ao ataque de pragas e doenças e aumentar a fotossíntese líquida. Trabalhos realizados com diversas espécies vegetais como leguminosas, fruteiras tropicais e cafeeiro, além de gramíneas, comprovam os efeitos benéficos do silício para diversas espécies vegetais (Korndörfer et al., 1999; Barbosa Filho et al., 2000; Barbosa Filho et al., 2001; Souza, 2002; Prado et al., 2002b; Carvalho-Puppato et al., 2004; Moraes et al., 2006).

Em seu estudo sobre o efeito de uma escória de alto forno na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), em solos com baixos teores de sílica solúvel, Ayers (1966) observou correlação positiva entre a resposta à aplicação de escória e teores de sílica solúvel no solo. Estudos posteriores em casa de vegetação comprovaram a existência de um efeito estimulador de crescimento do Si, pois aumentos de produção de cana e de teores de açúcar foram obtidos com a adição de CaSiO_3 . O autor indicou a escória como fonte de Si para a cultura de cana-de-açúcar. Outros trabalhos também relatam que a aplicação de escória resultou em efeito residual benéfico quanto à correção da acidez do solo e na produção de soqueira da cana-de-açúcar (Prado et al. 2003a), além de aumentar a produtividade e o teor de açúcar da planta em solos pobres em silício disponível (Malavolta, 1997).

Barbosa Filho et al. (2004) concluíram que o arroz (*Oriza sativa* L.) de terras altas respondeu positivamente à aplicação de escória silicatada, em duas safras sucessivas, quanto à absorção de Si e produtividade de grãos. Estes resultados estão relacionados aos efeitos benéficos do silício à cultura do arroz e às melhorias em atributos do solo como correção de acidez e aumento dos teores de Ca e de saturação de bases. Resultados semelhantes com esta mesma cultura foram amplamente divulgados em países asiáticos como Japão e Taiwan (Lian, 1976). Ademais, é comprovada por vários autores a eficiência do silício na reação da cultura do arroz a várias doenças, tais como a brusone, causada por *Pyricularia grisea*, escaldadura, causada por *Microdochium oryzae* e mancha parda, causada por *Drechslera oryzae* (Datnoff et al., 1990; Datnoff et al., 1991; Osuna-Canizales et al., 1991; Barbosa Filho et al., 2000).

Diferentemente dos trabalhos antes citados com as culturas do arroz e cana-de-açúcar, Chaves & Vasconcelos (2006) trabalhando com plantas de milho (*Zea mays* L) não obtiveram respostas positivas quanto aos parâmetros de crescimento vegetativo desta cultura à aplicação de xisto retornado, resíduo industrial da obtenção do xisto

betuminoso, rico em silício. Isso ocorreu mesmo com melhorias em diversos aspectos do solo com a aplicação do produto. Os autores atribuíram o resultado à provável baixa capacidade de absorção de silício pela cultivar de milho estudada e recomendam mais estudos no sentido de se conhecer melhor a cultura e suas cultivares quanto às respostas a aplicação de silício ao solo.

Quanto à indução da resistência a pragas pela cultura do milho com a aplicação de silício, alguns trabalhos mostram resultados positivos. Neri et al. (2005) concluíram em seu trabalho que a interação entre o silício e o inseticida regulador do crescimento lufenuron foi positiva no manejo da lagarta do cartucho do milho (*Spodoptera frugiperda*), com possibilidade de redução da dose do inseticida químico pela metade, apesar de a aplicação dos produtos, isolados ou em conjunto, não terem afetado a preferência da lagarta em teste de livre escolha. Os efeitos do silício no manejo de pragas são atribuídos principalmente a aspectos físicos, ou seja, a constituição de barreira mecânica na epiderme das folhas pela adição de sílica. Essa barreira faz com que insetos desfolhadores tenham maior dificuldade em se alimentar dessas plantas, como foi constatado por Busato et al. (2002) e Goussain et al. (2002), ao observarem desgaste na mandíbula de lagartas do cartucho por ocasião da alimentação em folhas de milho contendo silício.

Algumas espécies de plantas absorvem grandes quantidades de Si durante o seu ciclo. A cana-de-açúcar, arroz e as gramíneas em geral são consideradas plantas acumuladoras de Si podendo, em alguns casos, chegar até 6-7% na matéria seca (Korndörfer, 1999). No entanto, trabalhos com espécies pertencentes a outras famílias têm sido realizados, principalmente no intuito de verificar a redução da intensidade de doenças e aumentos de produtividade pela aplicação de fontes de silício. Pozza et al. (2004) observaram redução de 63,2% de folhas de café (*Coffea arabica* L.) lesionadas por *Cercospora coffeicola*, e de 43% no total de lesões por plantas quando se empregou 1 g de silicato de cálcio incorporado em 1 kg de substrato. Em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) indivíduos tratados com silicato apresentaram menor intensidade de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em experimento realizado em casa de vegetação com inoculação do patógeno (Moraes et al., 2006). Trabalhando com plantas de soja (*Glycine max* L.) em solução nutritiva contendo silício, Lima (1998) verificou redução na intensidade do cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* var. *meridionalis*) reduzindo o número de lesões em até 90%. Prado et al. (2003b) concluíram que houve aumento significativo na altura, número de folhas e área foliar nas mudas de goiabeira, assim como na concentração de Ca, Mg e P da parte aérea e das

raízes das plantas, além do incremento da matéria seca da parte aérea e das raízes, em função de aplicação de escória silicatada. Os autores ainda ponderaram que a escória de siderurgia mostrou-se viável na produção de mudas de goiabeira, como corretivo de acidez do solo e fornecedora de nutrientes, especialmente na maior dose estudada, ou seja, 8,4 g por vaso de 2,8 dm³, que equivaleria a 6.000 kg ha⁻¹ considerando uma camada de 20 cm de profundidade de solo.

2.4 – Metais pesados

Metais pesados é o termo aplicado para um grande grupo de elementos traço que são tanto industrial quanto biologicamente importantes. Entretanto, não completamente satisfatório de um ponto de vista químico, “metais pesados” é o mais largamente reconhecido e usado termo para o grande grupo de elementos com densidade atômica maior que 6 g/cm³. Estes elementos são tóxicos para organismos vivos quando presentes em excesso. No entanto, alguns como Co, Cr, Cu, Mn, Mo, e Zn são essenciais para o crescimento de plantas, animais ou ambos. Já os metais pesados que tendem a ser mais preocupantes para saúde humana, agricultura e ecotoxicologia são As, Cd, Hg, Tl e U (Alloway, 1995).

As escórias são tidas como potenciais fontes de metais pesados, que se incorporados ao solo trazem, ao longo do tempo, a contaminação do ambiente acarretando prejuízos incalculáveis. Devido ao grande interesse atual pelas questões ambientais, a presença de metais pesados nas escórias deve ser bem estudada, discutida e interpretada, pois a incorporação de elementos tóxicos ao ambiente, provenientes de atividades antropogênicas diversas, como a agricultura, as atividades industriais e a mineração, dentre outras, tem provocado efeitos danosos a diversos ecossistemas naturais e à própria vida humana (Tavares & Carvalho, 1992). Tais poluentes podem contaminar cursos d'água, solos, ar e, por consequência, afetar a cadeia alimentar nos seus diversos níveis. Nesse particular, metais tóxicos constituem um risco potencial para a vida aquática, os animais, as plantas e os seres humanos (Dobrovolski, 1997).

Uma vez no ambiente, os metais pesados tendem a se acumular, provocando elevação constante de seus níveis. No solo, geralmente fixam-se na camada de 0-20 cm de profundidade, que é a mais utilizada para fins agrícolas (Sadovnikova & Zyrin, 1986). Nos seres vivos, tais elementos reagem com ligantes difusores, macromoléculas e ligantes presentes em membranas, o que, muitas vezes, confere-lhes propriedades de

biomagnificação na cadeia alimentar provocando distúrbios nos processos metabólicos em diferentes espécies da biota (Tavares & Carvalho, 1992).

De maneira criteriosa, as investigações a respeito da contaminação de ambientes naturais por metais pesados passam necessariamente pelo conhecimento das espécies químicas metálicas presentes, uma vez que é a natureza delas que determina sua toxicidade imediata e potencial (Matthews, 1984 e Lake, 1987).

A influência direta da natureza da espécie metálica na toxicidade pode ser explicada pelo fato de compostos químicos diferentes de um mesmo metal atuarem de maneira diversificada nos sítios metabólicos sensíveis, apresentando, portanto, diferentes graus de toxicidade e acumulação nos tecidos. Como exemplo, pode-se citar o cromo, que apresenta baixa toxicidade na forma trivalente e alta toxicidade na forma hexavalente (Bastos e Nefussi, 1986). De maneira indireta, a forma química em que o metal se apresenta determina sua solubilidade e, em consequência, sua mobilidade no ambiente, afetando diretamente a sua capacidade de translocação e absorção do mesmo por seres vivos. Em razão disso, vários trabalhos têm evidenciado que não há correlação direta entre os teores totais de metais pesados em determinado substrato e os teores absorvidos por plantas cultivadas nesse substrato (Ahnstrom & Parker, 1999; Kot & Namiesnik, 2000).

As escórias silicatadas provenientes da produção de aço, desde que não tenham um potencial de contaminação do solo com metais pesados, podem ser usadas como corretivos de acidez e fertilizantes (Korndörfer, 2003). Portanto, antes de se proceder ao uso de qualquer subproduto industrial, é necessário que se realize criteriosa análise dos elementos presentes e potenciais contaminantes, suspendendo-se o uso da escória caso sejam detectados níveis elevados de metais pesados.

Amaral Sobrinho et al. (1992), analisaram diversos produtos utilizados na agricultura quanto à presença de metais pesados. Os resultados obtidos estão na Tabela 1 em que também se encontram os níveis dos mesmos elementos na escória silicatada utilizada neste trabalho. Os dados da escória apresentados na Tabela foram obtidos por Souza (2006) e através deles comprova-se que a escória silicatada em questão possui níveis menores de praticamente todos os metais pesados quando é comparada a fertilizantes e corretivos de solo comumente utilizados em Minas Gerais.

Tabela 1: Valores médios de metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos utilizados em Minas Gerais:

Produto	Mn	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Cr
	$\mu\text{g g}^{-1}$							
Escória Silicatada	4,63	1,45	0,05	0,09	0,13	0,63	22,66	0,53
Calcário Unaí (MG)	91,00	16,40	3,20	23,30	12,50	4,80	4.085,00	0,40
Calcário Arcos (MG)	53,00	8,00	2,40	27,30	78,10	2,60	981,00	0,30
Calcário Itaiúba (RJ)	46,00	11,50	3,00	26,20	15,20	4,30	614,00	0,30
Calcário Poté (MG)	149,00	19,00	2,60	23,30	35,70	11,00	4.599,00	0,30
Calcário Coramandel (MG)	188,00	17,10	3,10	27,90	12,50	4,80	3.965,00	0,60
Calcário Bocaiúva (MG)	201,00	12,30	3,40	27,20	39,90	2,60	452,00	0,10
Calcário Formiga (MG)	221,00	10,70	2,30	25,30	17,00	2,50	376,00	0,30
Corretivo resíduo Paracatu (MG)	2.867,00	11,40	51,90	2.817,00	10.220,00	121,70	31.610,00	0,60
NPK + Zn (0-30-15 +0,2%)	306,00	20,60	5,40	55,40	1.220,00	32,60	6.610,00	0,40
NPK + Zn (0-20-20 +0,4%)	176,00	13,80	2,70	37,70	3.115,00	33,60	3.545,00	0,60
NPK + Zn (2-28-8 +0,5%)	792,00	30,30	14,60	275,00	5.385,00	72,90	9.225,00	1,60
Termofosfato Yoorin	2.220,00	3.300,00	3,10	65,30	374,50	44,10	38.410,00	9,70
Apatita-de-Araxá	3.915,00	117,70	6,70	36,10	740,50	72,10	29.590,00	1,90

Adaptada de Amaral Sobrinho et al. 1995.

2.5 – Escórias silicatadas e o meio ambiente

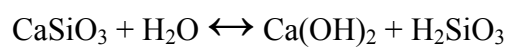
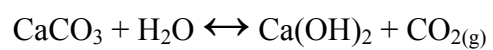
A aplicação de tecnologias apropriadas e ecologicamente corretas, provocando assim uma redução da utilização de recursos naturais, de desperdício, da geração de resíduos e poluição, é uma ação de prioridade mundial. A produção eficaz e a poluição zero advinda desta é o desafio inerente às estratégias de produção mais limpa, cujo objetivo principal é evitar a geração de resíduos e emissões, a partir de um enfoque preventivo (Oliveira & Martins, 2003).

A disposição no ambiente de escórias é um dos principais problemas enfrentados por indústrias, podendo inclusive limitar a produção das mesmas. Atualmente e devido às pressões sociais que visam conter os desequilíbrios ecológicos provocados pelo descarte de resíduos industriais, tem-se desenvolvido pesquisas no sentido de buscar soluções para a utilização econômica desses resíduos. Diversos resíduos, entre eles as escórias silicatadas, têm potencial de uso na agricultura, que pode absorver grande parte destes resíduos acarretando aumento de potencial produtivo de solos agricultáveis e ainda contribuindo para a redução de um sério problema ambiental (Prado & Fernandes, 2001; Chaves & Vasconcelos, 2006).

O silício, elemento presente em grande quantidade em diversas escórias, é relatado como indutor de resistência a doenças e pragas em diversas espécies vegetais (Marschner, 1995; Korndörfer et al., 2003). Maior resistência a pragas e doenças significa diminuição no uso de agrotóxicos, o que teria inegável resultado em redução de impactos ambientais causados pelo agronegócio (Goussain, 2006).

Nos últimos anos grande atenção tem sido dispensada para sistemas de produção que liberam o gás carbônico, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa. A atividade agrícola é considerada como sequestradora deste gás e, assim, benéfica para o ambiente. Entretanto, analisando-se a correção da acidez do solo isoladamente, pode-se depreender que a aplicação de carbonatos de cálcio e/ou magnésio comparativamente à aplicação de outros corretivos tem implicações diretas no balanço de CO₂ para a atmosfera. Segundo Souza (2006), comparando-se, por exemplo, os calcários, que são carbonatos, com as escórias, que tem como componentes principais os silicatos de cálcio e magnésio, percebe-se que, para cada 100 toneladas de calcário aplicadas ao solo há a liberação de 44 toneladas de CO₂ para a atmosfera enquanto que a utilização de escória silicatada não implicaria em liberação de CO₂. Desta forma, por este ponto de vista, a utilização da escória silicatada é ambientalmente mais adequada que a de calcários na correção da acidez dos solos. Esta afirmativa encontra respaldo nas

equações químicas abaixo apresentadas para o cálcio e que teria raciocínio idêntico para o magnésio:



3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente experimento foi realizado na Estação Experimental de Coimbra (Coimbra-MG), pertencente à Universidade Federal de Viçosa, situada a 715 m de altitude e tem como coordenadas geográficas 20° 50' 30" de latitude sul e 42° 48' 30" de longitude oeste.

O município de Coimbra localiza-se na mesorregião da Zona da Mata mineira dentro do Domínio Morfoclimático denominado Mares de Morros. É uma região acidentada, coberta originalmente por floresta tropical com substrato de rochas cristalinas gnássicas e graníticas (Resende & Resende, 1996). O clima da região é classificado como tropical de altitude (Cwb segundo Köppen), com precipitação pluvial média de 1.300 a 1.400 mm, concentrada principalmente nos meses de outubro a março e temperatura média anual de 19°C. O ano agrícola em questão se comportou de forma semelhante à média histórica de temperatura e precipitação pluvial.

A área experimental escolhida para a realização do trabalho foi instalada no ano agrícola de 1985/86, em um solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de acordo com EMBRAPA (1999), com 45% de argila e declividade média de 5%. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC). Foram instalados três tratamentos e quatro repetições. Cada parcela ocupa uma área de 37,80 m² (14,00 m de comprimento x 2,70 m de largura). O sistema de cultivo utilizado foi o sistema plantio direto, utilizado na área desde a instalação do experimento, em 1985. Neste sistema, o solo é trabalhado apenas ao longo das linhas de plantio, por ocasião da semeadura com uma máquina semeadora adubadora própria para plantio direto, de tração motorizada.

Ao longo do período em que a área foi trabalhada foram implantadas as seguintes culturas: 1985/86 - consórcio milho/feijão da "seca"; 1986/87 - feijão das "águas" e da "seca"; 1987/88 - milho; 1988/89 - milho; 1989/90 - feijão das "águas" e da "seca"; 1990/91 - milho; 1991/92 - milho; 1992/93 - milho; 1993/94 - milho; 1994/95 - milho; 1995/96 - milho e trigo; 1996/97 - soja e trigo; 1997/98 - soja e trigo; 1998/99 - feijão; 1999/00 - milho; 2000/01 - feijão da "seca"; 2001/02 - milho; 2002/03 - sorgo e

soja; 2003/04 - milho, 2004/05 – feijão da “seca”, 2005/06 – feijão da “seca”. O trabalho aqui apresentado refere-se ao ano agrícola de 2006/07.

O controle de plantas daninhas foi feito com herbicidas. Nas operações de dessecação das plantas daninhas, foram utilizadas misturas dos herbicidas glyphosate e 2,4-D. Após 1999, passou a ser utilizado apenas o glyphosate e em 2006 o 2,4-D voltou a ser utilizado, decisões tomadas em função das espécies daninhas presentes na área.

Os tratamentos aplicados ao experimento correspondem ao corretivo utilizado (escória silicatada e calcário dolomítico), além do tratamento testemunha, no qual o solo não foi corrigido quanto à acidez do solo. Os corretivos utilizados estão caracterizados na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização do Calcário dolomítico e da Escória silicatada utilizados no estudo:

Corretivo	PRNT (%)	CaO (%)	MgO (%)	SiO₂ (%)
Escória	68,0	27,9	8,2	21,3
Calcário	82,7	29,0	22,0	-

3.1 – Avaliação da mobilidade da escória silicatada e do calcário dolomítico no solo

A mobilidade da escória silicatada e do calcário dolomítico foi avaliada através da realização de amostragens e análise de solo, após aplicação dos produtos na área. As amostragens foram realizadas nas profundidades de 0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-40 cm aos 15, 30, 60, 90, 180 e 360 dias após a aplicação dos produtos ao solo. Foram analisados cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e pH nas amostras coletadas nas diferentes datas e profundidades.

Em outubro de 2006 foi realizada a amostragem e análise de solo para determinar os valores de Necessidade de Calagem (NC) e também para auxiliar na determinação da adubação a ser utilizada quando da implantação das culturas do milho e trigo. Foram retiradas 3 amostras de cada bloco, na profundidade de 20 cm, para posterior homogeneização e obtenção de amostras compostas (uma para cada bloco), as quais foram levadas a um laboratório para realização das análises químicas, de acordo com metodologia descrita por EMBRAPA (1997). Os resultados obtidos com as análises são apresentados a seguir, na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização química do solo da área em que foi realizado o estudo:

Bloco	Corg	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC(T)
	dag kg ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³					
I	1,07	5,1	9,9	80	0,90	0,35	0,45	4,29	1,50	5,96
II	0,93	4,8	10,2	70	0,80	0,30	0,55	4,79	1,20	5,16
III	1,03	5,1	11,1	68	0,90	0,30	0,40	3,96	1,22	5,74
IV	1,07	5,0	9,3	88	1,10	0,40	0,40	4,46	1,53	6,02

*pH em água – relação 1:2,5; P e K – extrator Mehlich 1; Ca, Mg, Al – extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; SB – Soma de Bases Trocáveis; CTC(T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; COrg – Carbono Orgânico - Walkley-Black.

Com os números acima apresentados e de acordo com o PRNT do calcário e escória silicatada foi possível calcular a NC para cada uma das parcelas. Para o cálculo foi utilizado o método da saturação de bases para que esta fosse elevada a 60%. As quantidades utilizadas em cada parcela estão apresentadas a seguir (Tabela 4).

Tabela 4: Necessidade de Calagem para os diferentes blocos

Bloco	Necessidade de Calagem (NC) em ton ha ⁻¹		
	NC – Calculado (PRNT=100%)	NC – Escória Silicatada (PRNT=68%)	NC – Calcário (PRNT=82,7%)
I	1,478	2,174	1,787
II	1,379	2,028	1,667
III	1,521	2,325	2,023
IV	1,282	1,885	1,550

Em novembro de 2006, a escória e o calcário foram aplicados sobre a área experimental. A aplicação foi feita de forma manual, a lanço, sem incorporação. A partir de dezembro foram realizadas as amostragens de solo para determinação da mobilidade dos corretivos utilizados. As amostragens foram realizadas através da construção de pequenas trincheiras, com a utilização de um enxadão, e da retirada, com um facão, de cerca de 100 g de solo de cada uma das diferentes profundidades e nas seis datas previamente definidas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e secas ao ar para posterior análise química, também seguindo metodologia de EMBRAPA (1997).

3.2 – Implantação das culturas de interesse agrônomo

Foram cultivados milho (cultura de verão) e trigo (cultura de inverno) na área experimental e características agrônomicas das culturas foram avaliadas ao final do cultivo para verificar a influência dos tratamentos utilizados no desenvolvimento destas espécies.

3.2.1 – Milho

Em dezembro de 2006 o híbrido simples de milho cultivar AGN 30A00 foi semeado na área experimental, com a deposição de 8 sementes por metro linear em fileiras espaçadas de 90 cm entre si. A adubação utilizada foi de 400 kg ha⁻¹ da formulação N-8, P-28, K-16. Foi utilizada semeadora própria para plantio direto nesta operação.

Em janeiro de 2007, foi realizada uma pulverização com os herbicidas nicosulfuron e atrazina na área para manejo de plantas daninhas. Duas semanas depois, quando o milho se apresentava no estágio de 4° a 5° folha, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ do nutriente nitrogênio. Essa aplicação foi realizada utilizando-se uma mistura de uréia (60%) + sulfato de amônio (40%). Ainda em janeiro, a população do milho foi corrigida através de desbaste para 55.555 plantas por hectare.

O milho foi avaliado quanto à severidade de doenças nos diferentes tratamentos (corretivo utilizado). As plantas foram avaliadas quanto à severidade de mancha de *phaeosphaeria* (*Phaeosphaeria maydis*) e helmintosporiose (*Exserohilum turcicum*). Na época da floração masculina, foram avaliadas 10 plantas escolhidas aleatoriamente na linha central de cada parcela. Obedeceu-se a uma escala diagramática de severidade de doenças nas folhas, apresentada pelo Guia Agroceres de Sanidade (1994), com notas de 1 a 9, onde 1 correspondeu a 0% de área foliar afetada, 2 correspondeu a 1% da área foliar afetada, 3 a 10%, 4 a 20%, 5 a 30%, 6 a 40%, 7 a 60%, 8 a 80% e 9 a mais de 80% do tecido foliar afetado.

Em abril de 2007, a área foi pulverizada com o herbicida paraquat para controle de plantas daninhas, as quais se encontravam em grande quantidade na área e poderiam prejudicar a operação de colheita.

No dia 15 de maio de 2007, foi realizada a colheita do milho. Foi colhida apenas a linha central de cada parcela, que continha três linhas. Foram coletadas as espigas das plantas contidas nos 10 metros centrais de cada linha. A colheita foi manual e a debulha

foi efetuada com uma trilhadeira estacionária. A produtividade (kg ha^{-1}) foi estimada por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para um hectare, corrigindo-se a umidade para 13%.

3.2.2 – Trigo

Em junho de 2007 foi realizada uma operação de dessecação com a aplicação dos herbicidas 2,4 – D + glyphosate. O trigo foi então semeado, utilizando-se a cultivar BRS 254. Foram semeadas 350 sementes aptas por metro quadrado, com espaçamento de 13 cm entre linhas. A adubação de plantio foi de 300 kg ha^{-1} da formulação N-8 P-28 K-16. O trigo foi irrigado durante todo o seu ciclo de produção.

Em julho de 2007, foi realizada a aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo. Foi aplicada uma dose de 50 kg ha^{-1} de nitrogênio utilizando-se como fonte sulfato de amônio.

Em outubro de 2007, foi realizada a colheita do trigo. Foram colhidas manualmente as plantas contidas em 10 metros lineares das 5 linhas centrais de cada parcela. A debulha foi efetuada com uma trilhadeira estacionária. A produtividade (kg ha^{-1}) foi estimada por meio da extrapolação da produção colhida na área útil das parcelas para um hectare, corrigindo-se a umidade para 13%.

3.3 – Análise estatística

O experimento foi analisado de duas formas diferentes, em função das avaliações realizadas. As análises referentes à mobilidade da escória e calcário no solo seguiram um esquema de parcelas subsubdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos de correção da acidez do solo (escória silicatada, calcário dolomítico ou testemunha), nas subparcelas as faixas de profundidade do solo avaliadas (0-2, 2-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 e 30-40 cm) e nas subsubparcelas as datas de avaliações (15, 30, 60, 90, 180 e 360 dias após a aplicação dos produtos ao solo) no DBC com quatro repetições. Já as análises referentes à produtividade de grãos das culturas do milho e trigo e à severidade de doenças na cultura do milho, seguiram um DBC com quatro repetições, em que os tratamentos correspondem ao corretivo de acidez do solo utilizado (escória silicatada, calcário dolomítico ou testemunha).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Mobilidade no solo da escória silicatada e do calcário dolomítico

Na Tabela 5 pode-se visualizar o resumo da Análise de Variância, em que todas as fontes de variação mostram-se significativas a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 5: Resumo da Análise de Variância das variáveis pH, cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio trocável (Mg^{2+}) e Alumínio trocável (Al^{3+}) para os três tratamentos (Trt), nas oito profundidades (Prf) e seis datas (Dat) avaliadas:

Fator de Variação	GL	Quadrados médios			
		pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}
Bloco	3	0,4402	0,6395	0,3593	0,2008
Trt	2	10,6339**	37,3707**	3,5250**	1,1280**
Erro (a)	6	0,0474	0,0598	0,0257	0,0168
Prf	7	17,7770**	110,2677**	17,0102**	2,4871**
Prf x Trt	14	1,3507**	7,5851**	0,5624**	0,0780**
Erro (b)	63	0,0158	0,0299	0,0168	0,0099
Dat	5	0,4176**	5,5813**	1,0110**	0,2809**
Dat x Trt	10	0,1779**	1,0565**	0,0886**	0,1039**
Dat x Prf	35	0,0930**	0,8953**	0,1153**	0,0320**
Dat x Trt x Prf	70	0,0445**	0,3227**	0,2034**	0,0197**
Erro (c)	360	0,0081	0,0188	0,0114	0,0043
CV(%) Parcela	-	4,35	13,97	26,72	43,20
CV(%) Subparcela	-	2,51	9,88	21,60	33,17
CV(%) Subsubparcela	-	1,80	7,84	17,80	21,56

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados médios das análises realizadas com o intuito de verificar a mobilidade dos corretivos estudados no perfil do solo estão apresentados nas Tabelas 6, 7, 8 e 9 nas quais estão apresentados os valores de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} , respectivamente.

Tabela 6: Médias dos valores de pH para os três tratamentos (Escória silicatada, Calcário dolomítico e Testemunha) nas seis datas e oito profundidades amostradas.

Profundidade (cm)	15 dias			30 dias			60 dias			90 dias			180 dias			360 dias		
	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.
0 a 2	6,77 a	5,60 b	5,23 c	6,02 a	5,88 b	5,35 c	6,73 a	5,88 b	5,45 c	6,88 a	6,20 b	5,28 c	6,83 a	6,35 b	5,28 c	6,90 a	6,48 b	5,28 c
2 a 5	5,43 a	5,03 b	4,95 b	5,33 a	5,05 b	5,05 b	5,68 a	5,40 b	4,95 c	5,80 a	5,53 b	5,08 c	6,13 a	5,65 b	5,25 c	6,25 a	5,55 b	5,05 c
5 a 10	5,08 a	5,10 a	4,73 b	5,20 a	4,83 b	4,95 b	5,20 a	5,10 a	4,80 b	5,28 a	5,10 b	4,78 c	5,25 a	5,33 a	4,95 b	5,35 a	5,30 a	4,78 b
10 a 15	4,83 a	4,80 a	4,78 a	4,85 a	4,78 a	4,75 a	5,08 a	4,70 b	4,65 b	5,18 a	4,95 b	4,53 c	5,08 a	5,00 a	4,70 b	5,18 a	5,03 a	4,75 b
15 a 20	4,78 a	4,68 a	4,73 a	4,83 a	4,65 b	4,65 b	4,83 a	4,68 a	4,43 b	4,73 ab	4,75 a	4,58 b	4,95 a	4,78 b	4,63 b	5,00 a	4,73 b	4,63 b
20 a 25	4,70 a	4,63 a	4,68 a	4,73 a	4,68 a	4,65 a	4,70 a	4,65 a	4,55 a	4,75 ab	4,78 a	4,60 b	4,73 a	4,60 a	4,58 a	4,80 a	4,58 b	4,65 ab
25 a 30	4,73 a	4,63 a	4,63 a	4,73 a	4,65 a	4,63 a	4,73 a	4,63 ab	4,50 b	4,73 ab	4,73 a	4,58 a	4,73 a	4,58 ab	4,53 b	4,73 a	4,55 b	4,68 ab
30 a 40	4,63 a	4,53 a	4,68 a	4,78 a	4,65 ab	4,55 b	4,75 a	4,63 a	4,65 a	4,78 a	4,75 a	4,63 a	4,70 a	4,63 a	4,60 a	4,75 a	4,55 b	4,63 ab

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada data de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7: Médias dos valores de cálcio trocável (Ca^{2+}), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, para os três tratamentos (Escória silicatada, Calcário dolomítico e Testemunha) nas seis datas e oito profundidades amostradas.

Profundidade (cm)	15 dias			30 dias			60 dias			90 dias			180 dias			360 dias		
	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.
0 a 2	4,38 a	2,83 b	2,58 c	5,08 a	3,98 b	2,95 c	5,45 a	3,80 b	2,68 c	7,55 a	4,33 b	2,58 c	7,45 a	4,85 b	3,03 c	7,58 a	4,95 b	2,60 c
2 a 5	2,83 a	2,05 b	2,05 b	2,78 a	2,08 b	2,40 ab	3,05 a	2,78 b	1,90 c	3,08 a	2,75 b	2,18 c	4,08 a	3,48 b	2,50 c	4,25 a	3,25 b	2,25 c
5 a 10	1,30 b	1,88 a	1,30 b	1,35 a	1,23 a	1,40 a	1,78 a	1,63 a	1,15 b	1,85 a	2,05 a	1,23 b	2,48 a	2,70 a	1,70 b	2,70 a	2,65 a	1,43 b
10 a 15	1,50 a	1,38 ab	1,23 b	1,45 a	0,88 b	1,05 b	1,48 a	1,23 b	0,80 c	1,63 a	1,55 a	0,85 b	1,90 a	1,73 a	1,38 b	1,85 a	1,58 b	1,38 b
15 a 20	1,15 a	1,15 a	0,95 b	1,23 a	1,00 b	0,88 b	1,30 a	0,95 b	0,73 b	1,30 a	1,10 a	0,78 b	1,50 a	1,43 a	0,98 b	1,48 a	1,25 a	0,90 b
20 a 25	1,03 a	1,08 a	0,83 a	1,03 a	0,93 a	0,83 a	1,10 a	0,93 ab	0,83 b	1,05 a	0,98 a	0,75 b	1,18 a	0,98 ab	0,75 b	1,28 a	0,83 b	0,83 b
25 a 30	0,85 a	0,93 a	0,83 a	0,88 a	0,73 a	0,83 a	0,80 a	0,73 a	0,73 a	0,93 a	0,93 a	0,88 a	0,90 a	0,88 a	0,75 a	1,15 a	0,80 b	0,80 b
30 a 40	0,88 a	0,83 a	0,68 a	1,03 a	0,85 ab	0,70 b	0,93 a	0,80 a	0,75 a	0,88 a	0,90 a	0,78 a	0,93 a	0,83 a	0,83 a	1,08 a	0,83 b	0,73 b

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada data de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8: Médias dos valores de magnésio trocável (Mg^{2+}), em $cmol_c\ dm^{-3}$, para os três tratamentos (Escória silicatada, Calcário dolomítico e Testemunha) nas seis datas e oito profundidades amostradas.

Profundidade (cm)	15 dias			30 dias			60 dias			90 dias			180 dias			360 dias		
	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.
0 a 2	1,50 a	1,38 a	0,85 b	1,80 a	1,78 a	1,20 b	1,80 a	1,45 b	1,05 c	2,13 a	1,75 b	1,05 c	1,98 a	2,05 a	1,15 b	2,20 a	1,95 b	1,10 c
2 a 5	0,95 a	0,80 a	0,48 b	1,05 a	1,13 a	0,83 b	1,38 a	1,18 b	0,68 c	1,25 a	1,13 a	0,68 b	1,50 a	1,33 a	1,10 b	1,48 a	1,25 b	0,75 c
5 a 10	0,40 b	0,63 a	0,30 b	0,55 a	0,55 a	0,55 a	0,78 a	0,70 a	0,38 b	0,78 a	0,73 a	0,48 b	0,95 a	1,05 a	0,65 b	1,23 a	1,18 a	0,60 b
10 a 15	0,40 a	0,38 a	0,25 a	0,48 a	0,30 a	0,33 a	0,50 a	0,43 a	0,30 b	0,53 a	0,48 a	0,28 b	0,73 a	0,63 ab	0,53 b	0,85 a	0,70 a	0,70 a
15 a 20	0,35 a	0,28 a	0,23 a	0,25 a	0,15 a	0,23 a	0,33 a	0,20 a	0,23 a	0,28 a	0,28 a	0,20 a	0,53 a	0,45 a	0,38 a	0,58 a	0,40 ab	0,23 b
20 a 25	0,23 a	0,25 a	0,23 a	0,20 a	0,13 a	0,20 a	0,30 a	0,18 a	0,13 a	0,23 a	0,25 a	0,18 a	0,38 a	0,33 a	0,28 a	0,33 a	0,23 a	0,20 a
25 a 30	0,25 a	0,23 a	0,25 a	0,23 a	0,13 a	0,25 a	0,23 a	0,18 a	0,13 a	0,18 a	0,25 a	0,20 a	0,33 a	0,30 a	0,28 a	0,28 a	0,18 a	0,23 a
30 a 40	0,23 a	0,23 a	0,25 a	0,23 a	0,23 a	0,23 a	0,28 a	0,15 a	0,13 a	0,18 a	0,25 a	0,23 a	0,35 a	0,23 a	0,23 a	0,28 a	0,20 a	0,23 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada data de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 9: Médias dos valores de alumínio trocável (Al^{3+}), em $cmol_c\ dm^{-3}$, para os três tratamentos (Escória silicatada, Calcário dolomítico e Testemunha) nas seis datas e oito profundidades amostradas.

Profundidade (cm)	15 dias			30 dias			60 dias			90 dias			180 dias			360 dias		
	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.	Escória	Calcário	Test.
0 a 2	0,00 b	0,00 b	0,13 a	0,00 b	0,00 b	0,13 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,08 a	0,00 a	0,00 a	0,08 a
2 a 5	0,00 b	0,05 b	0,30 a	0,00 b	0,00 b	0,18 a	0,00 b	0,00 b	0,23 a	0,00 b	0,00 b	0,13 a	0,00 b	0,00 b	0,20 a	0,00 b	0,00 b	0,20 a
5 a 10	0,10 b	0,10 b	0,43 a	0,25 ab	0,15 b	0,30 a	0,00 b	0,08 b	0,45 a	0,08 b	0,08 b	0,33 a	0,00 b	0,00 b	0,28 a	0,00 b	0,10 b	0,40 a
10 a 15	0,43 a	0,33 a	0,40 a	0,45 a	0,35 a	0,35 a	0,20 b	0,53 a	0,53 a	0,20 b	0,25 b	0,45 a	0,00 c	0,15 b	0,38 a	0,00 c	0,30 b	0,48 a
15 a 20	0,45 a	0,35 a	0,35 a	0,45 a	0,53 a	0,45 a	0,40 b	0,55 a	0,65 a	0,40 b	0,43 b	0,55 a	0,15 b	0,20 b	0,43 a	0,05 c	0,30 b	0,48 a
20 a 25	0,50 a	0,45 a	0,45 a	0,53 a	0,58 a	0,48 a	0,55 a	0,53 a	0,60 a	0,43 b	0,48 ab	0,55 a	0,28 b	0,48 a	0,48 a	0,23 b	0,45 a	0,50 a
25 a 30	0,45 a	0,50 a	0,45 a	0,43 a	0,50 a	0,45 a	0,48 b	0,45 b	0,68 a	0,48 b	0,50 b	0,63 a	0,33 b	0,48 a	0,50 a	0,33 b	0,50 a	0,45 a
30 a 40	0,38 b	0,50 a	0,45 ab	0,40 b	0,63 a	0,50 ab	0,43 a	0,45 a	0,53 a	0,43 a	0,48 ab	0,53 a	0,38 a	0,43 a	0,43 a	0,35 a	0,48 a	0,40 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, dentro de cada data de amostragem, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 6 é possível verificar que a escória foi mais eficiente que o calcário em elevar os teores de pH. Em todas as datas amostradas, o pH do solo tratado com a escória foi superior ao do solo tratado com o calcário até 5 cm de profundidade.

A escória mostrou-se também mais eficiente em elevar os teores de pH em profundidades maiores. Já aos 30 dias, o pH do solo tratado com a escória havia sido ($P<0,05$) elevado na camada de 5 a 10 cm de profundidade, alcançando valor de 5,20 contra 4,83 do solo tratado com calcário que não diferiu estatisticamente da testemunha. Aos 60 dias, o pH do solo tratado com a escória já era superior ($P<0,05$) ao solo tratado com calcário e à testemunha na camada de 10 a 15 cm. O solo tratado com calcário só superou a testemunha nesta profundidade (10 a 15 cm) aos 90 dias e igualou-se ao solo que recebeu a escória silicatada apenas aos 180 dias. Nesta data, o tratamento calcário já era superado pelo tratamento escória na profundidade de 15 a 20 cm com valores de 4,78 e 4,95, respectivamente. O calcário não promoveu aumentos ($P>0,05$) de pH em profundidade superior a 15 cm de solo, mesmo 360 dias após a aplicação do mesmo. A escória por sua vez, promoveu elevação no pH do solo até 20 cm de profundidade chegando a 5,00 na camada de 15 a 20 cm.

Com relação aos teores de cálcio trocável (Ca^{2+}), apresentados na Tabela 7, os resultados obtidos nas camadas mais superficiais estudadas (0 a 5 cm) foram semelhantes aos discutidos anteriormente para pH, ou seja, o solo que recebeu a escória foi sempre superior ao solo que recebeu o calcário. Aos 30 dias após a aplicação dos produtos, os teores de Ca^{2+} no tratamento escória eram superiores ($P<0,05$) ao tratamento calcário e testemunha até a profundidade de 20 cm, resultado que se manteve inalterado até os 60 dias. O solo tratado com calcário só superou a testemunha quanto aos teores de Ca^{2+} na camada de 5 a 15 cm aos 60 dias e na camada de 15 a 20 cm aos 90 dias após a aplicação dos corretivos, sendo esta a profundidade máxima de atuação do calcário até os 360 dias. A escória chegou a elevar os teores de Ca^{2+} com significância estatística até a camada de 30 a 40 cm de profundidade aos 360 dias após a aplicação.

O magnésio trocável (Mg^{2+}) foi o atributo avaliado que menos sofreu alterações nas camadas mais profundas estudadas (Tabela 8). Houve modificações ($P<0,05$) nos teores deste elemento apenas até a camada de 10 a 15 cm de profundidade. Tanto o calcário quanto a escória mostraram-se eficientes na elevação dos teores de Mg^{2+} até os 5 cm de profundidade dos 15 aos 360 dias após a aplicação dos corretivos, com

superioridade da escória em algumas datas. Elevação significativa de Mg^{2+} em profundidades maiores só ocorreu aos 60 dias quando tanto a escória quanto o calcário foram capazes de elevar os teores deste elemento até a camada de 5 a 15 cm, situação mantida até os 180 dias. O calcário dolomítico utilizado no estudo apresentava 22% de MgO contra 8% da escória, fato que foi preponderante para que a escória não repetisse a superioridade que teve sobre o calcário nos outros atributos avaliados (pH, Ca^{2+} e Al^{3+}).

Na Tabela 9 observa-se que os resultados de neutralização do Al^{3+} através da aplicação de calcário dolomítico e escória silicatada. Ambos os corretivos foram capazes de neutralizar totalmente o Al^{3+} já aos 15 dias, e até os 360 dias, na camada de 0 a 5 cm de profundidade do solo. Na camada de 5 a 10 cm, apesar de não neutralizar totalmente o Al^{3+} , este foi ($P < 0,05$) reduzido também já aos 15 dias. Aos 180 dias, em ambos os tratamentos que receberam corretivos, o Al^{3+} foi totalmente neutralizado até a camada de 5 a 10 cm, mas somente a escória foi capaz de neutralizar este elemento até os 15 cm aos 180 dias, situação que se repetiu aos 360 dias após a aplicação dos produtos. Apesar de não ter havido completa neutralização do Al^{3+} em maiores profundidades, os corretivos estudados foram capazes de reduzir significativamente em relação à testemunha os níveis deste elemento até a camada de 15 a 20 cm, a partir dos 90 dias. A escória foi capaz de reduzir os teores de alumínio trocável até a camada de 25 a 30 cm a partir dos 180 dias.

A capacidade da escória em atuar mais rapidamente na correção da acidez do solo e em maior profundidade é provavelmente devida à sua maior solubilidade em relação aos carbonatos, ou seja, 6,78 vezes mais solúvel, conforme argumentam Ramos et al. (2006) em seu trabalho realizado em colunas de lixiviação com diversos corretivos de acidez e em concordância com Alcarde (2005).

Resultados diferentes dos obtidos neste trabalho foram encontrados por Prado et al. (2002c) que utilizaram em seu trabalho calcários magnesiano e dolomítico e escória de aciaria, em doses iguais e na mesma granulometria (todos os produtos passaram pela peneira ABNT n°50, ou 0,3 mm, o que confere pelo método oficial de análise de corretivos reatividade de 100%) misturados ao solo em vasos. Estes autores concluíram que os calcários foram mais eficientes em elevar pH e concentrações de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho distrófico que a escória. Os autores afirmam, assim como Piau (1995), que o efeito da escória na correção da acidez do solo foi inferior ao dos calcários, provavelmente em razão de dois fatores relacionados com o valor do poder relativo de neutralização total (PRNT) de cada corretivo e da sua forma de

determinação. No método oficial, o PRNT é obtido através das determinações dos elementos Ca e Mg, que são transformados por cálculo estequiométrico nos respectivos óxidos; assim, obtém-se o resultado expresso em equivalente em carbonato de cálcio (ECaCO_3) (Brasil, 1983). Neste tipo de determinação do PRNT, espera-se que todo o Ca e Mg presentes nos corretivos estejam associados a bases químicas efetivas como carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos (Alcarde & Rodella, 1996). Por outro lado, as escórias apresentam variação de seus constituintes químicos, além das bases neutralizantes, contêm outros compostos inexpressivos para a efetiva correção da acidez do solo (Piau, 1995). Assim, o cálculo seguindo o método oficial pode superestimar o valor do PRNT.

Diferentemente da metodologia adotada por Prado et al. (2002c), Corrêa et al. (2007) trabalharam em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média em sistema plantio direto (sem a incorporação de corretivos ao solo) com escória de aciaria e calcário dolomítico (entre outros produtos) sem que houvesse peneiramento dos produtos. O PRNT neste caso foi, portanto, calculado levando-se em consideração o poder de neutralização (PN) e a reatividade das partículas (RE), semelhantemente ao método de trabalho do presente experimento. Dessa forma, os resultados encontrados por Corrêa et al. (2007) são semelhantes aos encontrados neste trabalho, ou seja, a escória de aciaria foi superior ao calcário dolomítico na correção da acidez e elevação dos teores de Ca e Mg no perfil do solo, chegando a atuar até a camada de 20 a 40 cm avaliada aos 27 meses após a aplicação dos produtos. Estes autores concluíram que a escória de aciaria é adequada para a correção da acidez em solo trabalhado sob sistema plantio direto. Resultados semelhantes de correção da acidez e elevação nos teores de Ca e Mg foram obtidos por Carvalho-Puppato et al. (2004), porém com a incorporação dos corretivos.

4.2 – Efeitos da Escória Silicatada e do Calcário Dolomítico sobre as culturas de interesse agrônômico

Os resultados obtidos com a avaliação da severidade de helmintosporiose e mancha de *phaeosphaeria* na cultura do milho estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Médias de valores percentuais atribuídos às plantas de milho quanto à severidade de doenças foliares nos tratamentos estudados

Doença	Escória Silicatada	Calcário	Testemunha
Helmintosporiose	11,45 a	14,15 a	16,40 a
Mancha de Phaeosphaeria	8,55 a	11,18 a	11,98 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferença ($P>0,05$) na severidade das doenças foliares do milho avaliadas (Tabela 10). A não obtenção de resposta significativa do milho à aplicação de silício foi atribuída à presença natural deste elemento nos solos da região onde foi realizado o estudo (em torno de 8 mg kg^{-1} , extraído pelo CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$). Respostas significativas podem ser encontradas em solos pobres em silício, como os encontrados no Cerrado brasileiro.

Com relação à produtividade de grãos do milho e de trigo, os resultados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Médias de produtividade (kg ha^{-1}) obtidas para as culturas do milho e trigo nos diferentes tratamentos (corretivo utilizado):

Cultura	Escória Silicatada	Calcário	Testemunha
	Produtividade (kg ha^{-1})		
Milho	3856,3 a	4094,6 a	3863,0 a
Trigo	5378,6 a	5311,4 a	5296,2 a

Médias seguidas pela mesma letra na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar das melhorias em diversos atributos do solo promovidas pela aplicação da escória silicatada em relação ao calcário dolomítico e à testemunha, a produtividade de grãos da cultura do milho e da cultura do trigo não variaram ($P>0,05$) entre os tratamentos. O milho é considerado uma cultura responsiva à calagem. No entanto, em áreas sob plantio direto consolidado, especialmente onde o aporte de palha é grande, o milho tem respondido menos à calagem (Cantarella & Duarte, 2004). Raciocínio semelhante pode ser usado para o trigo. Além disso, as condições em que foi conduzido o experimento foram ideais para o bom desenvolvimento de ambas as culturas. Situações de estresse poderiam proporcionar condições para diferentes respostas destas espécies em relação aos produtos utilizados para a correção da acidez do solo. A

produtividade do milho, considerada baixa para padrões atuais em áreas que empregam alta tecnologia, pode ser explicada pela necessidade de se realizar desbaste na área experimental e reduzir a população de 75.000 plantas ha⁻¹ para 55.000 plantas ha⁻¹, visto que em algumas parcelas do experimento, por razões não compreendidas, houve falhas na germinação e emergência das plântulas.

Alguns trabalhos mostram resultados semelhantes a este para produção de grãos em solos corrigidos quanto à acidez por escórias silicatadas e outros resíduos, como o realizado Carvalho-Puppato et al. (2004), que apesar de terem proporcionado melhorias nos atributos químicos do solo não chegaram, no entanto, a aumento de produtividade de grãos e de matéria seca da cultura do arroz no solo tratado com a escória de aciaria em relação ao solo testemunha. Semelhantemente, Chaves & Vasconcelos (2006) não obtiveram resposta significativa em termos de crescimento vegetativo de plantas de milho, mesmo com aumento na soma de bases trocáveis do solo proporcionado pela aplicação de xisto retornado.

5. CONCLUSÕES

Em aplicação superficial, sem incorporação, em sistema plantio direto consolidado, a escória silicatada promoveu melhor efeito de correção da acidez no perfil do solo que o calcário, tendo elevado o pH até a camada de 15 a 20 cm já aos 180 dias após a aplicação dos produtos. O calcário, por sua vez, foi eficiente em elevar o pH a, no máximo, 15 cm de profundidade, mesmo 360 dias após a aplicação dos tratamentos.

As escórias silicatadas são mais eficientes em corrigir a acidez do solo em profundidade e são mais indicadas que os calcários em plantio direto.

A escória silicatada foi mais eficiente que o calcário na elevação do pH e dos teores de Ca, além da diminuição dos teores de Al no solo.

A produção de grãos de milho e trigo não foi influenciada pela correção da acidez, tampouco pelo corretivo utilizado.

A aplicação de silício ao solo por meio da escória silicatada não reduziu a severidade de doenças foliares na cultura do milho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrocerec. Guia Agrocerec de Sanidade. São Paulo: Agrocerec, 1994. 56 p.
- Ahnstrom, Z.S. e Parker, D.R. Development and assessment of a sequential extraction procedure for fractionation of soil cadmium. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1650-1658, 1999.
- Alcarde, J.C. Corretivos de acidez dos solos: características e interpretações técnicas. 2^a ed. São Paulo: ANDA, 24 p. Boletim técnico 6, 2005.
- Alcarde, J.C. e Rodella, A.A. O equivalente em carbonato de cálcio dos corretivos da acidez dos solos. **Scientia Agricola**, v.53, p.204-210, 1996.
- Alleoni, L.R.F.; Cambri, M.A. e Caires, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.923-934, 2005.
- Alloway, B.J. Heavy metals in soils. 2^a ed. Londres: Springer, 368 p., 1995.
- Alvarez, V.H.V.; Dias, L.E.; Ribeiro, A.C. e Souza, R.B. Uso de Gesso Agrícola. In: Ribeiro; A.C.; Guimarães, P.T.G. e Alvarez, V.H.V. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5^a Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.67-78, 1999.
- Amaral Sobrinho, N.M.B.; Costa, L.M.; Oliveira, C. e Velloso, A.C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.
- Amaral, A.S.; Anghioni, I.; Hinrichis, R. e Bertol, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.359-367, 2004.

- Ayres, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Science**, v.101, p.216-227, 1966.
- Barbosa Filho, M.P.; Snyder, G. H.; Elliot, C.L. e Datnoff, L.E. Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, p.1779-1792, 2001.
- Barbosa Filho, M.P.; Snyder, G.H.; Prabhu, A.S.; Datnoff, L.E. e Korndörfer, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz (Uma revisão de literatura) **Informações Agronômicas**. Encarte técnico. n.89, p.1-8, 2000.
- Barbosa Filho, M.P.; Zimmermann, F.J.P. e Silva, O.F. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos de arroz de terras altas. **Ciência Agrotécnica**, v.28, p.323-331, 2004.
- Bastos, M.E. e Nefussi, N. Aspectos toxicológicos de agentes químicos. In: Programa internacional de seguridad de las sustancias quimicas. México: Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud, 138p., 1986.
- Bellingieri, P.A. Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983. 99p. (Tese de doutorado).
- Bellote, A.F.J.; Ferreira, C.A.; Silva, H.D.; Andrade, G.C. e Moro, L. Implicações ecológicas do uso de cinza da caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: Seminário sobre o uso de resíduos industriais e urbanos em florestas, Botucatu: UNESP. Faculdade de Ciências Econômicas. p.167- 187, 1994.
- Brasil. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Brasília: Lanarv, 1983, 104 p.
- Busato, G.R.; Grützmacher, A.D.; Garcia, M.S.; Gilo, F.P. e Martins, A.F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidade) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, v.31, p.110-118, 2002.

- Caires, E.F.; Blum, J.; Barth, G.; Garbuió, F.J. e Kusmanr, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.275-286, 2003.
- Caires, E.F.; Feldhaus, I.C.; Barth, G. e Garbuió, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. ***Scientia Agricola***, v.59, p.357-364, 2002.
- Caires, E.F.; Kusman, M.T.; Barth, G.; Garbuió, F.J. e Padilha, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. ***Revista Brasileira de Ciência do Solo***, v.28, p.125-136, 2004.
- Cantarella, H. e Duarte, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: Galvão, J.C. e Miranda, G.V. (ed.) *Tecnologias de Produção do Milho*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, p.139-182.
- Carvalho, M.C.S. e Raij, B. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. ***Plant Soil***, v.192, p.37-48, 1997.
- Carvalho-Pupatto, J.G.; Bull, L.T. e Crusciol, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, v.39, p.1213-1218, 2004.
- Castilhos, D.D. Alterações químicas e biológicas do solo resultantes da adição de resíduos de curtume e cromo hexavalente. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 194p. (Tese de doutorado).
- CETESB. Guia Prático nº1 - Codisposição dos Resíduos Industriais. São Paulo, 1984.
- Chaves, L.H.G. e Vasconcelos, A.C.F. Alterações de atributos do solo e do crescimento de plantas de milho pela aplicação de xisto. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v.10, p.84-88, 2006.
- Corrêa, J.C.; Bull, L.T.; Crusciol, C.A.C.; Marcelino, R. e Mauad, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, v.42, p.1307-1317, 2007.

- Datnoff, L.E., Raid, R.N.; Snyder, G.H. e Jones, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, v.75, p.729-732, 1991.
- Datnoff, L.E.; Raid, R.N.; Snyder, G.H. e Jones, D.B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, v.5, p.65, 1990.
- Dobrovolski, V.V. Biospheric cycles of heavy metals and regulatory role of soil. **Eurasian Soil Science**, v.30, p.371-380, 1997.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999, 412p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997, 212p.
- Farina, M.P.W. e Channon, P. Gypsum effects on growth and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.175-180, 1988.
- Ferreira, A.S.; Camargo, F.A.O.; Tedesco, M.J. e Bissani, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.755-763, 2003.
- Fortes, J.L. O. Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo. Viçosa: UFV, 1993. 66p. (Tese de Mestrado).
- Gatiboni, L.C.; Saggin, A.; Brunetto, G.; Horn, D.; Flores, J.P.C.; Rheinheimer, D.S. e Kaminski, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto convencional. **Ciência Rural**, v.33, p.283-290, 2003.
- Gomes, A.G.; Gargantini, H. e Blanco, H.G. Comportamento de tipos de escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, v.24, p.173-79, 1965.

- Goussain, M.M. Interação trigo-silício-inseticida na biologia e no comportamento de prova do pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) monitorado pela técnica “Electrical Penetration Graphs (EPG)”. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006, 59p. (Tese de Doutorado).
- Goussain, M.M.; Moraes, J.C.; Carvalho, J.G.; Nogueira, N.L. e Rossi, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, p.305-310, 2002.
- Korndörfer, G.H. Existe alguma relação entre Si e Plantio Direto? In: Direto no Cerrado, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1999.
- Korndörfer, G.H.; Arantes, V.A.; Corrêa, G.F. e Snyder, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p.635-641, 1999.
- Korndörfer, G.H.; Pereira, H.S.; Camargo, M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia: UFU/ICIAG, 23p. 2003.
- Kot, A. e Namiesnik, J. The role of speciation in analytical chemistry. **Trends in Analytical Chemistry**, v.19, p.69-79, 2000.
- Lake, D.J. Chemical speciation of heavy metals in sewage sludge and related matrices. In: Lester, J.N. (Ed.). Heavy metals in wastewater and sludge treatment process. Florida: CRC Press, p.126-148, 1987.
- Lian, S. Silica fertilization of rice. In: Food fertilizer technology center. The fertility of paddy soils and fertilizer applications for rice. Taipei, 1976, p. 197-220.
- Lima, M.T.G. Interrelação Cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum* f. sp. *meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine Max* (L.) Merrill]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 97p. (Tese de Doutorado).
- Lourenço, R.S. Curvas de neutralização de solo com lama de cal, comparada com CaCO_3 p.a. e calcário. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.35, p.49-57, 1997.

- Louzada, P.T.C. Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 52p. (Tese de Doutorado).
- Machado, A.T. Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 135p. (Dissertação de Mestrado).
- Madeiros, L.B.; Almeida, G.M. e Aquino, B.F. Aplicação da escória de siderurgia no solo: efeito sobre o fósforo solúvel. **Engenharia Ambiental**, v.5, p.005-013, 2008.
- Malavolta, E. (Coord.). Seminário sobre Corretivos Agrícolas. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 375p.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889p.
- Matthews, P.J. Control of metal application rates from sewage sludge utilization in agriculture. **Critical Reviews in Environmental Control**, v.14, p.199-250, 1984.
- Moraes, S.R.G.; Pozza, E.A.; Alves, E. Pozza, A.A.A.; Carvalho, J.G.; Lima, P.H. e Botelho, A.O. Efeito de fontes de silício na incidência e na severidade da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.31 p.69-75. 2006.
- Neto, P.H.W.; Caires, E.F.; Justino, A. e Dias, J. Correção da acidez do solo em função de modos de incorporação de calcário. **Ciência Rural**, v.30, p.257-261, 2000.
- Oliveira, M.R.C.; Martins, J. Caracterização e classificação do resíduo sólido “Pó-de-balão” gerado na indústria siderúrgica não integrada a carvão vegetal – estudo de um caso na região de Sete Lagoas/MG. **Química Nova**, v.26, p.5-9, 2003.
- Osuna-Canizales, F.J.; Dedatta, S.K e Bonman, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. **Plant and Soil**, v.135, p.223-231, 1991.
- Pereira, J.E. Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1978. 84p. (Dissertação de Mestrado).

- Petrere, C. e Anghioni, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.885-895, 2001.
- Piau, W.C. Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 124p. (Tese de Doutorado)
- Pires, F.R, Desenvolvimento e avaliação de mecanismo para distribuir calcário, ao longo do perfil do solo, no sulco de plantio. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2000. (Dissertação de Mestrado).
- Pozza, A.A.A.; Pozza, E.A.; Carvalho, J.G.; Montanari, M.; Guimarães, P.T.G. e Santos, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004.
- Prado, R.M. e Fernandes, F.M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, v.74, p.235-242, 1999.
- Prado, R.M. e Fernandes, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo Vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, p.26-29, 2001.
- Prado, R.M. e Fernandes, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, v.57, p.739-744, 2000.
- Prado, R.M., Natale, W. e Fernandes, F.M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.197-205, 2004.
- Prado, R.M.; Corrêa, M.C.M. e Natale, W. Efeito da cinza da indústria de cerâmica no solo e na nutrição de mudas de goiabeira. **Acta Scientiarum**, v.24, p.1493-1500, 2002b.

- Prado, R.M.; Corrêa, M.C.M.; Cintra, A.C.O. e Natale, W. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.160-163, 2003b.
- Prado, R.M.; Fernandes, F.M. e Natale, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v.59, p.129-135, 2002c.
- Prado, R.M.; Fernandes, F.M. e Natale, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez no solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.287-296, 2003a.
- Prado, R.M.; Coutinho, E.L.M.; Roque, C.G. e 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**, v.37, p.539-546, 2002a.
- Raij, B.; Furlani, P.R.; Guaggio, J.A. e Pettinelli Jr., A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.101-108, 1998.
- Ramos, L.A.; Nolla, A.; Korndörfer, G.H.; Pereira, H.S. e Camargo, M.S. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.
- Resende, S.B. e Resende, M. Solos dos mares de morros: ocupação e uso. In: O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Solos, 1996.
- Roque, A.J.; Correia A.G.; Fortunato E.; Santayana F.P.; Castro F.; Ferreira S.M.R. e Trigo L. A Geotecnia na valorização de agregados siderúrgicos inertes reciclados – Um projecto nacional. 12º Encontro Nacional do Saneamento Básico, Cascais, Portugal, 2006.
- Sadovnikova, L.K. e Zyrin, N.G. Indices of soil pollution by heavy metals used for soil monitoring. **Sovietic Soil Science**, v.17, p.58-63, 1986.

- Souza, C.M. Considerações sobre o uso agrícola do Agrosilício. Parecer técnico. Recmix do Brasil, 2006.
- Souza, C.M. Uso agrícola da escória de alto-forno. In: Controle ambiental das indústrias de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal. Projeto Minas Ambiente, p.253-300, 2002.
- Sumner, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: Jayawardane, N.S.; Stewart, B.A. (Ed.) Subsoil management techniques. Athens: Lewis Publishers, p.147-185, 1995.
- Sumner, M.E.; Shahandeh, H.; Bouton, J. e Hammel, J. Amelioration of an acid soil profile through deep liming an surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1278, 1986.
- Tavares, T.M. e Carvalho, F.M. Avaliação da exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do recôncavo baiano. **Química Nova**, v.15, p.147-153, 1992.
- Vilela, H.; Andrade, R.A.; Vilela, D. Efeito de níveis de silicato sobre a correção do solo, produção e valor nutritivo do capim elefante paraíso (*Pennisetum hybridum*). In: IV Simpósio brasileiro sobre silício na agricultura, Botucatu, 2007. Resumos. p.9-13.
- Vitti, G.C. Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 30p., 2000.
- Volkweiss, S.J. Química da acidez do solo. In: Seminário sobre Corretivo da Acidez do Solo, Santa Maria: UFSM, 1989. p.3-7.