ITHAMAR PRADA NETO

EFICIÊNCIA RELATIVA DE DIFERENTES FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE SILICATOS NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador
Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

ITHAMAR PRADA NETO

EFICIÊNCIA RELATIVA DE DIFERENTES FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DE SILICATOS NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia - Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADO em 15 de junho de 2009.

Prof. Dr. Beno Wendling UFU

Prof. Dr. Renato de Mello Prado UNESP

Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol UNESP

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
ICIAG – UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

Aos meus pais, Ithamar e Marli, à minha esposa, Sycelle, e à minha filha, Sarah, Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Aos meus pais, Ithamar e Marli, por todo amor, incentivo, confiança e oportunidades que me deram.

À minha esposa, Sycelle, por todo o amor, incentivo e sonhos partilhados.

À minha filha Sarah que está a caminho, e mesmo antes de nascer já nos transmite tanto amor.

Ao meu orientador, Prof. Gaspar, pela oportunidade de trabalharmos juntos, pelo conhecimento transferido e amizade formada.

Aos membros da banca, prof. Dr. Renato de Mello Prado, prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, prof. Dr. Beno Wendling e profa. Dra. Regina Maria Quintão Lana, pelos inúmeros ensinamentos, conselhos e atenção para com este trabalho.

Às minhas irmãs, Regiane e Fernanda, pelo companheirismo e parceria.

À minha avó (Daisy), pelo constante exemplo de juventude e força.

Aos meus cunhados (Josiel, Rafael, Leandro e Sofia), pelo apoio.

Às minhas sobrinhas (Ana Luiza, Letícia e Maria Clara) e ao meu sobrinho (Enrico), pela alegria que nos passam em cada sorriso.

Ao meu sogro, Silas, e minha sogra, Célia, por me incluírem em suas famílias.

Aos meus familiares e amigos, por todos os momentos que passamos juntos.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Instituto de Ciências Agrárias, por permitirem a realização do mestrado, conciliando com as atividades profissionais.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UFU, Aparecida e Eduardo, por toda a atenção e apoio.

Ao Centro Universitário de Patos de Minas, pelo apoio e ajuda nos custos de viagem para Uberlândia.

Aos engenheiros agrônomos Rafael Alves Pereira e Odinei Pires Cenci, pelo apoio imensurável na condução deste trabalho.

Ao Prof. Carlos Henrique Eiterer de Sousa, ao aluno Willian Lourenção e aos demais membros da equipe da Central de Fertilidade do Solo.

Aos estudantes do Grupo de Pesquisas em Silício e a equipe do Laboratório de Fertilizantes da UFU, na pessoa da Valéria.

À Universidade Federal de Ouro Preto, em particular ao Laboratório de Hidrometalurgia, e em especial, ao Prof. Verciani e ao Graciliano, pela realização das análises de superfície específica dos corretivos.

À Excell Minerais e à Holcim, pela amostra do produto e constante auxílio ao Grupo de Pesquisa em Silício.

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

À Associação para Pesquisas Agrícolas (APPA).

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

BIOGRAFIA

Ithamar Prada Neto nasceu em Limeira, SP, em 21 de abril de 1981, filho de Ithamar Luiz de Castro Prada e Marli Bernadete Francisco Prada.

Iniciou, no ano de 1999, o curso de Engenharia Agronômica na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pertencente à Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), onde teve a oportunidade de trabalhar com os professores Dr. Durval Dourado Neto e Dr. Rubens Duarte Coelho e com o pesquisador Dr. Edmilson Ambrosano.

Em 2003, em sua conclusão de curso, desempenhou estágio profissionalizante com vivência em uma propriedade focada na produção de cana-de-açúcar e na reprodução de bovinos de corte, da companhia CFM, em Araçatuba, sob a orientação do Prof. Dr. Luis Ignácio Prochnow.

No ano de 2006, ingressou no curso de especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio da Universidade Federal de Lavras (UFLA), o qual concluiu em 2007, com a defesa da monografia intitulada "Viabilidade agronômica e econômica de fosfatos naturais reativos", sob a orientação do Prof. Dr. Antonio Furtini Neto.

Ingressou no mestrado em Agronomia, na área de concentração em Solos, na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no ano de 2007, sob a orientação do Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer.

No âmbito profissional, foi trainee e, posteriormente, assessor agronômico da Bunge Fertilizantes, entre o final de 2003 até o ano de 2006, atuando nos estados de Minas Gerais, Goiás e Espírito Santo. Em 2006, iniciou carreira docente, assumindo disciplinas nas áreas de Fitotecnia, Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, e Produção e Tecnologia de Adubos para o curso de Agronomia da Faculdade de Ciências Agrárias do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), onde atua até o presente momento.

De novembro de 2006 a setembro de 2008, coordenou o curso de Agronomia do UNIPAM.

No final de 2008, após encerrar as atividades à frente do curso de Agronomia do UNIPAM, assumiu a área de desenvolvimento de tecnologias da Associação para Pesquisas Agrícolas (APPA).

SUMÁRIO

RESUMO i
ABSTRACT ii
1 INTRODUÇÃO 1
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA 3
2.1 Acidez do solo 3
2.2 Correção da acidez do solo 4
2.3 Características dos corretivos de acidez 5
2.4 Silicatos de cálcio 7
2.5 Efeitos do Si na agricultura 8
3 MATERIAL E MÉTODOS 10
3.1 Local do experimento 10
3.2 Solos utilizados nas unidades experimentais 10
3.3 Corretivos utilizados 12
3.4 Tratamentos e delineamento experimental 17
3.4 Condução do experimento 17
3.5 Determinação do pH do solo após a incubação e avaliação da eficiência relativa..... 18
3.6 Avaliação do teor de Si no solo após a incubação 19
3.6 Análise estatística 19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 20
4.1 Variações no pH aos 30 dias de incubação..... 20
4.2 Variações no pH, equivalente $CaCO_3$, e eficiência relativa dos corretivos aos 90 dias de incubação 23
4.3 Teor de silício no solo após 30 dias de incubação 28
5.4 Teor de silício no solo após 90 dias de incubação 29
5 CONCLUSÕES 32
6 REFERÊNCIAS 33

LISTA DE FIGURAS

		Página
1.	Mesa agitadora (a) e peneiras utilizadas para a separação dos corretivos nas diferentes frações granulométricas (b).	14
2.	Ilustrações dos processos laboratoriais para determinação do PN em amostras dos materiais corretivos, desde a pesagem (a), a fervura da solução contendo a amostra do corretivo e HCl (b), a solução transferida para balão volumétrico de 100 mL em descanso para decantação (c), e a titulação até o aparecimento da coloração rosada (d).	15
3.	Pesagem dos corretivos (a), adição dos corretivos nos recipientes plásticos contendo as amostras dos solos (b), irrigação das amostras dos solos (c), e incubação em laboratório por 30 e 90 dias (d).	18
4.	Valores do pH em $CaCl_2$, em função da dose equivalente de $CaCO_3$ aplicada ao solo após 30 dias de incubação, nos solos: muito argiloso (a), argiloso (b), médio (c), arenoso (d).	20
5.	Valores do pH em $CaCl_2$, em função da dose equivalente de $CaCO_3$ aplicada ao solo após 90 dias de incubação, nos solos: muito argiloso (a), argiloso (b), médio (c), arenoso (d).	23

LISTA DE TABELAS

		Página
1.	Caracterização química e física dos solos utilizados no experimento	11
2.	Densidade das amostras dos solos utilizados no experimento	12
3.	Necessidade de calagem em equivalente de $CaCO_3$ com 100% de PRNT, para amostras dos solos utilizados no experimento, considerando as respectivas densidades das amostras dos solos	12
4.	Teores de cálcio, magnésio e silício dos corretivos utilizados	12
5.	Superfície especifica e volume total de poros dos corretivos de acidez do solo	13
6.	Poder de neutralização dos materiais corretivos de acidez do solo utilizados no experimento	16
7.	Quantidade de corretivo calculada para atingir 60% de saturação por bases, para cada um dos solos experimentais	16
8.	Dose de Si fornecida por cada um dos silicatos em cada solo experimental	17
9.	Valores de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo de solo utilizado, na dose referente à elevação da saturação por bases para 60%, e da fração granulométrica após 30 dias de incubação, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso	22
10.	Valores de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo de solo utilizado, na dose referente à elevação da saturação por bases para 60%, e da fração granulométrica após 90 dias de incubação, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso	24
11.	Eficiências relativas, em relação ao $CaCO_3$, dos corretivos de acidez de diferentes frações granulométricas aos 90 dias de incubação	26
12.	Eficiências relativas, em relação à fração granulométrica inferior a 0,3 mm (peneira 50 ABNT), dos corretivos de acidez em diferentes frações granulométricas aos 90 dias de incubação	27
13.	Teor de Si no solo em função da fração granulométrica e do corretivo utilizado, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso, após 30 dias de incubação	28
14.	Teor de Si no solo em função da fração granulométrica e do corretivo utilizado, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso, após 90 dias de incubação	30

RESUMO

PRADA NETO, ITHAMAR. **Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de silicatos na correção da acidez do solo.** 2009. 38f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia[1].

Os silicatos são produtos que podem ser utilizados não apenas para o fornecimento de silício, como também para a correção da acidez do solo. Nos corretivos agrícolas, os principais fatores que devem ser avaliados são o poder de neutralização e a reatividade, que juntos compõe o poder relativo de neutralização total, fator determinante para a definição da dose a ser empregada na agricultura. Atualmente, os silicatos estão sendo avaliados quanto a sua capacidade de correção do solo com os mesmos critérios utilizados para o calcário, mesmo apresentando origens e processos de produção muito distintos. Com o presente trabalho, objetivou-se quantificar a reatividade para cada fração granulométrica de diferentes silicatos. O experimento foi desenvolvido no Centro Universitário de Patos de Minas, em Patos de Minas, MG, utilizando-se três silicatos (Agrosilício, Silifértil e Holcim) e um calcário comercial, em quatro frações granulométricas, separados pelas peneiras: < 10 mesh, 10 a 20 mesh, 20 a 50 mesh e > 50 mesh, em quatro solos com as seguintes classes granulométricas: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso, com quatro repetições. Os corretivos foram aplicados e misturados nos vasos contendo 300g de amostras de solos, os quais foram submetidos à incubação por trinta e noventa dias, com solos mantidos a 80% da capacidade de campo. Para a obtenção dos valores de equivalente em carbonato de cálcio, foram submetidos também a incubação dos solos com carbonato de cálcio em doses crescentes. Após os períodos de incubação, foram realizadas análises de pH, em $CaCl_2$, e do teor de Si no solo, em $CaCl_2$. Os dados foram submetidos a análise de variância e tiveram suas médias comparadas, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de probabilidade. Os resultados obtidos mostraram que quanto menor a fração granulométrica, maior a eficiência relativa dos corretivos (calcário e silicatos) na elevação do pH do solo. Quanto aos resultados dos corretivos, os silicatos Agrosilício e Silifértil se destacaram, o que demonstrou que com os métodos atualmente empregados estão subestimando a reatividade destes produtos, principalmente na fração compreendida entre as peneiras de 20 e 50 mesh. O Holcim se mostrou menos eficiente que o calcário, quanto a correção da acidez do solo, fato este que pode estar associado a alguma diferença no processo de produção do produto, em relação aos demais silicatos. Quanto ao fornecimento de silício para o solo, a mesma tendência foi mantida, com superioridade para as frações granulométricas mais finas. Desta forma, novos parâmetros precisam ser colocados em prática para a determinação da reatividade dos silicatos.

Palavras-chave: Escória de siderurgia. Silício. Corretivos agrícolas. Fertilidade do solo.

[1] Orientador: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer – UFU.

ABSTRACT

PRADA NETO, ITHAMAR. **Relative efficiency of different size fractions of silicate in correcting the soil acidity.** 2009. 38p. Dissertation (Masters Degree in Agronomy/Soils Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia[2].

The silicates are products that might be used not just for silicon supply, but also for correction of soil acidity. The main factors that must be evaluated for agricultural correctives are neutralization power and reactivity, which, combined, form the relative power of total neutralization, a determinant factor for the definition of the dose to be used in agriculture. Currently, the silicates have been evaluated for their ability to correct the soil with the same criteria used for lime, despite presenting very different origin and production processes. This study quantified the reactivity for each size fraction of different silicates. The experiment was conducted at the University of Patos de Minas, in Patos de Minas, MG, using three silicates (Agrosilício, Silifértil and Holcim) and a commercial lime in four size fractions, separated by sieves: <10 mesh, 10 to 20 mesh, 20 to 50 mesh and > 50 mesh, in four soils: very clayey, clayey, loamy, and sandy medium texture, with four replications. The correctives were applied and mixed in pots containing 300g of soil samples, which were subjected to incubation for thirty to ninety days at 80% field capacity. Soils that received calcium carbonate in increasing doses were also incubated to obtain the values of the equivalent in calcium carbonate. After the incubation periods, analyses of pH in $CaCl_2$, and the Si content of the soil in $CaCl_2$ were done. Data were submitted to analysis of variance and means were compared by their Scott-Knott test at 5% probability. The results showed that the smaller the fraction size, the greater the relative efficiency of the corrective (lime and silicates) in raising the soil pH. The results of the silicates Agrosilício and Silifértil were outstanding, showing that the methods currently employed are underestimating the reactivity of these products, mainly in the fraction between 20 and 50 mesh. Holcim was less efficient than lime in correcting soil acidity, a fact that may be associated with differences in the production process in relation to the other silicates. The same trend was maintained for silicon supply to the soil, with superiority for the smaller size fractions. Thus, new parameters need to be put into practice for determining the reactivity of silicates.

Keywords: Silicate slag. Silicon. Agricultural correctives. soil fertility.

[2] Supervisor: Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer – UFU.

1 INTRODUÇÃO

A maioria dos solos brasileiros, sobretudo aqueles sob vegetação de cerrado, apresenta limitações quanto ao estabelecimento e desenvolvimento das principais culturas, em decorrência dos efeitos da acidez do solo.

Neste cenário, a correção da acidez do solo se apresenta com papel fundamental para a obtenção de resultados agronômicos e econômicos positivos na agricultura. Nos últimos anos, o consumo brasileiro de calcário vem oscilando na ordem de 16 a 27 milhões de toneladas por ano, segundo informações da Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola (2008).

Não apenas os calcários, mas também os silicatos apresentam bom potencial para utilização como corretivos de acidez, com o benefício de além de corrigir a acidez do solo e fornecer cálcio e magnésio, e também o silício, elemento que desperta grande interesse da comunidade científica e do setor agrícola atualmente, por trazer uma série de benefícios para algumas culturas.

Os principais parâmetros que orientam o uso dos corretivos são os valores de poder de neutralização, reatividade e poder relativo de neutralização total, sendo este último resultante da combinação dos anteriores. Tais parâmetros são fundamentais para a definição de doses, eficiência agrônomica e efeito residual.

A avaliação do poder de neutralização (PN) consiste na análise química do poder corretivo do material, ou seja, a capacidade do corretivo em neutralizar o hidrogênio. Esta avaliação é feita através da adição de HCl em uma amostra de calcário e na posterior identificação na quantidade de HCl consumida, o que reflete o poder de neutralização do material.

A reatividade (RE) se refere à velocidade de reação do corretivo no solo, e esta velocidade de reação está associada com a superfície de contato do material. Quando se analisa a reatividade de um corretivo, se considera apenas o tamanho de partículas, desconsiderando suas características intrínsecas de superfície específica, como a porosidade e forma das partículas. A porosidade e a forma das partículas diferem muito em função da origem do corretivo. Os silicatos oriundos de escórias de siderurgia apresentam, em geral e para um mesmo tamanho de partícula, uma superfície específica e porosidade bem maiores do que as partículas de um corretivo oriundo de uma rocha calcária.

Estas características certamente podem afetar a reatividade de um corretivo e atualmente são totalmente ignoradas no método de determinação da reatividade. Existe a hipótese de que a determinação da reatividade de materiais silicatados oriundos de escórias esteja sendo subestimada quando comparada aos calcários, em geral.

Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho, quantificar a eficiência relativa na correção da acidez do solo de frações granulométricas de silicatos em comparação ao calcário.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Acidez do solo

Segundo Lopes e colaboradores (1990), a grande maioria dos solos brasileiros, principalmente os solos sob vegetação de cerrado, apresentam elevada acidez, o que prejudica o bom desenvolvimento das plantas. Sousa e colaboradores (2007) relatam que tal efeito pode estar associado à presença de Al e Mn em concentrações tóxicas e aos baixos teores dos macronutrientes Ca e Mg.

A acidificação do solo é um processo natural e sua intensidade depende de fatores intrínsecos do solo e das perturbações a que o sistema é submetido (KAMINSKI; RHEINHEIMER, 2000).

Os solos poderão ser naturalmente ácidos quando a rocha de origem apresentar baixos teores de bases, ou então, mesmo apresentando altos teores de bases, quando este solo for submetido a intenso processo pedogenético. Neste último caso, destaca-se a situação de precipitação pluvial intensa, ao longo dos anos, promovendo lixiviação de bases, permanecendo no complexo de troca, predominantemente os cátions hidrogênio e alumínio (FURTINI NETO et al., 2001).

Além dos processos pedogenéticos, outros fatores também contribuem para a acidificação do solo, como: as reações de hidrólise que ocorrem nas soluções dos solos, a decomposição de resíduos orgânicos pelos microorganismos, a ação do homem, através de adubações e sistemas de produção adotados, e a própria absorção de nutrientes (MEURER, 2006).

A acidez ativa do solo é definida como todo o hidrogênio (H^+) presente na solução, medida pelo potencial hidrogênio iônico (pH). O pH pode ser determinado com um potenciômetro, utilizando-se dois métodos principais: no primeiro, utiliza-se uma suspensão de terra em água e no segundo em $CaCl_2$ a 0,01 M (PLESE, 2000).

A concentração de H^+ na solução do solo, avaliada pelo pH, não é, na maioria dos casos, fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, desde que haja suprimento adequado dos nutrientes e ausência de elementos em concentrações tóxicas. Entretanto, essa situação não ocorre naturalmente nos solos, pois, em condições ácidas, podem ocorrer íons, como o Al^{3+} e Mn^{2+}, em teores tóxicos para as plantas. Outros aspectos importantes associados à elevada acidez são a alteração na

disponibilidade de nutrientes e a interferência na atividade microbiana (SOUSA et al., 2007).

2.2 Correção da acidez do solo

Em função dos fatores negativos da acidez do solo para a produção agrícola, torna-se necessária a sua correção através da calagem, maneira mais fácil e econômica para se corrigir a acidez do solo nos primeiros 20 cm deste. Furtini Neto e colaboradores (2001) destacam como principais benefícios da calagem:

- Diminuição da toxidez por Al^{3+} e Mn^{2+};
- Aumento da mineralização da matéria orgânica, consequentemente aumentando a disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, enxofre, fósforo e boro;
- Aumento na disponibilidade de cálcio e magnésio, por adição direta ao solo;
- Aumento na disponibilidade de fósforo e molibdênio, presentes em formas fixadas e de menor disponibilidade no solo ácido;
- Aumento da fixação não-simbiótica e simbiótica de nitrogênio;
- Aumento da CTC do solo, reduzindo os problemas de salinidade e de lixiviação de cátions;
- Aumento da eficiência da adubação;
- Aumento da preservação de áreas de floresta ou de áreas menos vocacionadas para a agricultura, em face da necessidade de menor área para obter a mesma produção.

Segundo Sousa e Lobato (2004), para solos de Cerrado, a produtividade de grãos das culturas de sequeiro (soja, milho, trigo e feijão) aumenta com a saturação por bases até 40%, estabiliza entre os valores de 40% a 60% e diminui quando a saturação por bases é maior que 60%. Neste último caso, o pH em água do solo estará maior que 6,3, o que ocasiona a redução na disponibilidade de zinco, cobre, ferro e manganês.

Diversos são os métodos para a determinação da necessidade de calagem, sem haver uma definição clara sobre qual o melhor deles. Fundamentalmente, os cálculos tem-se baseado nos seguintes métodos: método da curva de incubação de $CaCO_3$, método baseado no teor de alumínio trocável (CATE, 1965; CATANI; ALONSO, 1969), método baseado no decréscimo de pH de soluções-tampão SMP (SHOEMAKER

et al., 1961), método baseado na saturação por bases (RAIJ, 1981), método baseado no pH e matéria orgânica (DEFELIPO et al., 1982; ALVAREZ V., 1996) e método para neutralizar a acidez trocável e elevar os teores de Ca e Mg trocáveis (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999).

Independente do método adotado, é de extrema importância que a determinação da necessidade de calagem seja adequada, pois o excesso de aplicação de um corretivo pode trazer diversos impactos negativos, como a indução a deficiências de ferro e manganês (LOPES, 1989).

2.3 Características dos corretivos de acidez

Todo material utilizado para corrigir a acidez do solo contém componentes neutralizantes, como carbonatos, óxidos, hidróxidos e silicatos. Os componentes neutralizantes nestes materiais não são os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+}, mas sim os ânions CO_3^{-2}, OH^-, SiO_3^{2-} (PLESE, 2000).

A qualidade de um calcário é dada pela combinação de seus atributos químicos e físicos. O atributo químico, representado pelo poder de neutralização, depende do tipo e teor de neutralizantes no corretivo. O físico, representado pela eficiência relativa, depende da natureza geológica da rocha calcária e do grau de moagem a que foi submetida (KURIHARA et al., 1999).

A avaliação química dos corretivos de acidez consta das seguintes determinações: poder de neutralização (PN) e teores de Ca e Mg (ALCARDE; RODELLA, 1996).

A avaliação física dos corretivos de acidez é determinada pela sua composição granulométrica, empregando-se as peneiras nº 10, 20 e 50, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Para cada uma das frações granulométricas, produto retido na peneira ABNT 10, produto passante na peneira ABNT 10 e retido na peneira ABNT 20, produto passante na peneira ABNT 20 e retido na peneira ABNT 50 e produto passante na peneira ABNT 50, são atribuídos os seguintes valores de reatividade 0%, 20%, 60% e 100%, respectivamente. A partir dos resultados da composição granulométrica, calcula-se a reatividade (RE) ou eficiência relativa (ER) do calcário, de acordo com a equação abaixo (ALCARDE; RODELLA, 1996).

$$\% RE = \% F_{10-20} \times 0,2 + \% F_{20-50} \times 0,6 + \% F_{>50} \times 1$$

Onde:

$\%F_{10-20}$= percentual de produto que passa pela peneira nº10 e fica retido na peneira nº20; % F_{20-50} = percentual de produto que passa pela peneira nº20 e fica retido na peneira nº50; e $F_{>50}$ = percentual de produto que passa pela peneira nº50.

Estes parâmetros de reatividade são adotados no Brasil de acordo com o que a legislação prevê para todos os corretivos, independente de sua origem. Segundo Prado e colaboradores (2001), ainda não existe uma legislação específica para silicatos de cálcio, sendo estes incluídos na legislação de calcários, com algumas adaptações.

Alcarde e colaboradores (1989), avaliando a reatividade de calcários de diferentes origens na correção da acidez do solo constataram eficiência relativa acima de 80% para partículas de tamanho inferior a 0,3 mm (peneira > 50 ABNT), entre 39 e 65% para partículas entre 0,3 e 0,84 mm (produto passante na peneira 20 ABNT e retido na peneira 50 ABNT), e eficiência entre 6 e 27% para partículas entre 0,84 e 2,0 mm (produto passante na peneira 10 ABNT e retido na peneira 20 ABNT).

Bellingieri (1983), avaliando a eficiência de frações granulométricas de calcários em laboratório, em solos com controle de umidade em 30%, encontrou valores de eficiência relativa de 7,4%; 37,6%; 76,7% e 100%, respectivamente, para corretivos nas frações granulométricas passantes na peneira ABNT 5 e retiros na peneira ABNT 10, passantes na peneira 10 e retidos na peneira ABNT 30, passantes na peneira ABNT 30 e retidos na peneira ABNT 50 e produtos passantes na peneira ABNT 50.

Segundo Kurihara e colaboradores (1999), a origem da rocha calcária interfere na ER do corretivo, com destaque para os materiais de origem sedimentar que apresentam elevada friabilidade, possibilitando que torrões do material sejam facilmente desagregados com pequena pressão entre os dedos da mão, de maneira que, após sua extração da jazida, esse calcário não necessita passar por um processo de moagem como os de natureza metamórfica. Entretanto, ao se efetuar a análise granulométrica, verifica-se que estes torrões não passam pelo conjunto de peneiras durante a agitação mecânica, subestimando a real capacidade do material em se solubilizar no solo.

Bellingieri e colaboradores (1992), avaliando a reatividade de um calcário dolomítico e calcário dolomítico calcinado durante dois anos agrícolas, relataram que o calcário calcinado apresentou maior reatividade no primeiro ano agrícola, bem como as frações granulométricas mais finas proporcionaram maior reatividade no primeiro ano do trabalho, fato que foi amenizado no segundo ano agrícola, em que a reatividade dos

calcários tenderam a se igualar, e a granulometria mais grosseira também compensou a menor reatividade obtida no primeiro ano.

Plese (2000), avaliando o efeito da umidade do solo entre o intervalo de 0 a 80% da capacidade de campo na reatividade das frações granulométricas de um calcário, observou que quanto mais altos os valores de umidade do solo, mais favorável era para a reação do corretivo no solo. Para solos mantidos a 80% da capacidade de campo, a frequência de molhamento teve pouca influência na reatividade.

A combinação das características químicas e físicas do corretivo, respectivamente, PN, expresso em equivalente de carbonato de cálcio, e ER, originam o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), variável esta utilizada para a definição da dose a ser utilizada (BELINGIERI et al, 1988).

2.4 Silicatos de Cálcio

Segundo Prado e colaboradores (2001), para minimizar os problemas químicos dos solos do Brasil, uma maneira seria mediante a correção da acidez do solo pelo uso de escórias de siderurgia, um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituído quimicamente de silicato de cálcio ($CaSiO_3$).

Segundo Malavolta (1981), de maneira simplificada, a escória de siderurgia pode ser definida como sendo obtida através da sílica do minério de ferro que reage com o cálcio do calcário em alto forno. Este processo envolvendo altas temperaturas, seguindo de um rápido resfriamento, difere do processo de produção de calcário (moagem de rochas calcárias), o que pode originar materiais de alta solubilidade, consequentemente elevando sua eficiência relativa.

Os silicatos de cálcio e magnésio apresentam como principais benefícios o aumento na disponibilidade do Si, a elevação do pH, o aumento do Ca e Mg trocáveis no solo, a redução de toxicidade do Fe, Mn e Al para as plantas e o aumento na disponibilidade de P no solo (KORNDÖRFER et al., 2003).

Segundo Alcarde (1992), a ação neutralizante dos silicatos de cálcio e magnésio no solo pode ser explicada com as seguintes equações:

$$Ca(Mg)SiO_3 + H_2O \leftrightarrow Ca^{+2}(Mg^{+2}) + SiO_3^{-2}$$

$$SiO_3^{-2} + H_2O \leftrightarrow HSiO_3^{-} + OH^{-}$$

$$HSiO_3^{-} + H_2O \leftrightarrow H_2SiO_3 + OH^{-}$$

$$H_2SiO_3 + H_2O \leftrightarrow H_4SiO_4$$

Dentre os silicatos, as fontes mais abundantes e baratas são as escórias siderúrgicas, originadas do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400 ºC, da reação do calcário com a sílica presente no minério de ferro (KORNDÖRFER et al. 2003).

As principais características que devem ser avaliadas na escolha de uma fonte de silício para a agricultura são: solubilidade, disponibilidade, as propriedades físicas, a concentração de elementos contaminantes e a relação custo benefício (GASCHO, 2001).

2.5 Efeitos do Si na agricultura

A utilização de macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e de micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) é considerada como essencial para se alcançar resultados satisfatórios na produção agrícola. Porém, em determinadas condições de solo e cultivo, existem elementos chamados de não-essenciais, como o silício (Si), que pode promover diversos processos fisiológicos desejáveis para as plantas e por consequência aumentar a produtividade (KORNDÖRFER; LEPSCH, 2001).

A comprovação da essencialidade do silício é muito difícil de ser obtida, devido a sua abundância na biosfera. Está presente em quantidades significativas mesmo em sais, água e ar (WERNER; ROTH, 1983).

As plantas absorvem silício diretamente da solução do solo, sendo este transportado até as raízes, principalmente via fluxo de massa (DAYANADAM et al., 1983).

Balastra e colaboradores (1989) relatam que o Si, após absorvido, é transportado pelo xilema e depositado na parede celular na forma de sílica amorfa hidratada ou opala biogênica ($SiO_2.nH_2O$). Uma vez alocado, o Si torna-se imóvel e não mais se redistribui na planta.

Marschner (1995) classifica as plantas de acordo com o seu teor de SiO_2 na matéria seca da parte aérea em três grupos: I) acumuladoras, com teores de Si de 10 a 15%; II) intermediárias, com teores de Si de 1 a 3%; III) não acumuladoras, com teores na ordem de 0,5%. Myake e Takahashi (1983) relatam que as gramíneas são

acumuladoras típicas, reduzindo de forma rápida a concentração de Si na solução do solo.

Entre as plantas que mais extraem Si, destacam-se o arroz e a cana-de-açúcar. Ma e Takahashi (2002) relatam que as plantas de arroz possuem mecanismos específicos de absorção de Si, em que as proteínas de membranas são produzidas por expressão do gene específico. Uma série de autores demonstram que o silício reduz a severidade de várias doenças de importância econômica na cultura do arroz, tais como a brusone, mancha parda, escaldadura, entre outras (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

Não apenas na redução da severidade de doenças, como também na redução do ataque de pragas, pode-se observar grandes efeitos da aplicação de Si. Yoshida (1975), citado por Barbosa Filho e colaboradores (2000), relata que a silicificação da epiderme previne a penetração e a mastigação pelos insetos porque as células ficam mais endurecidas. Segundo revisão feita pelos mesmos autores, diversos insetos sofreram impactos com a aplicação de Si, como: larvas da broca de colo, trips e cigarrinha parda, que, respectivamente, tiveram mandíbulas danificadas, inibição na atividade e redução da população.

O silício aparece na cana-de-açúcar em altas concentrações, podendo variar desde 0,14% em folhas jovens até 6,7% nos colmos e folhas velhas. No Havaí, as folhas contendo menos de 0,5% de silício são frequentemente afetadas por um sintoma denominado "freckling". A causa deste sintoma é ainda bastante controvertida, porém, a maioria dos pesquisadores atribuem à falta de Si e a desequilíbrios nutricionais. O aparecimento da ferrugem na cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*) pode estar relacionado com o referido sintoma. O sintoma é mais severo nas folhas mais velhas e a área fotossintética é normalmente fortemente atingida (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

Não apenas em relação aos fitopatógenos, mas quanto ao ataque de pragas, principalmente a broca do colmo e cigarrinha, poderiam ser diminuídas nas cultivares acumuladoras de Si. Outros efeitos do Si na cana-de-açúcar estão relacionados à maior resistência ao acamamento e alterações na arquitetura da planta, deixando as folhas mais eretas e, em consequência disso, mais eficientes quanto à capacidade de aproveitamento da luz solar e de realização da fotossíntese (KORNDÖRFER et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi desenvolvido na Central de Fertilidade do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), no município de Patos de Minas – MG, onde os solos foram armazenados durante o período de incubação de 30 e 90 dias, de 8 de julho à 6 de outubro de 2008.

3.2 Solos utilizados nas unidades experimentais

O experimento foi realizado em quatro classes de solo de diferentes texturas, sendo: arenoso, médio, argiloso e muito argiloso. Os solos foram coletados do horizonte B, para não haver interferência da matéria orgânica, e posteriormente foram secos ao ar até atingirem massa constante. Em seguida peneirados em malha de 2 mm e realizada a análise química e física, seguindo a metodologia descrita pelo Programa Interlaboratorial de controle de qualidade de análise de solo (2005), exceto para o teor de Si no solo que seguiu a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Caracterização química e física dos solos utilizados no experimento

Atributo	Unidade	SOLOS			
		Muito argiloso Latossolo Vermelho Aciférrico Típico	Argiloso Latossolo Vermelho Perférrico Típico	Médio Latossolo Vermelho Distroférrico Típico	Arenoso Latossolo Amarelo Distrófico Psamítico
Si	mg dm^{-3}	5,9	5,0	8,7	2,9
P (Mehlich 1)	mg dm^{-3}	0,0	0,7	1,0	0,1
K	mg dm^{-3}	36,4	4,0	22,6	8,9
Ca	$cmol_c$ dm^{-3}	0,2	0,2	0,4	0,2
Mg	$cmol_c$ dm^{-3}	0,6	0,2	0,5	0,1
H + Al	$cmol_c$ dm^{-3}	3,7	6,0	3,9	3,4
pH (em H_2O)		5,1	5,3	4,7	4,5
Al	$cmol_c$ dm^{-3}	0,1	0,1	0,4	0,5
CTC (e)	$cmol_c$ dm^{-3}	0,9	0,5	1,4	0,8
CTC (T)	$cmol_c$ dm^{-3}	4,6	6,4	4,9	3,7
SB	$cmol_c$ dm^{-3}	0,8	0,4	1,0	0,3
V	%	18,5	6,4	20,0	8,2
Cu	mg dm^{-3}	0,2	1,3	0,9	0,3
Zn	mg dm^{-3}	0,1	0,1	0,1	0,1
Argila	%	74	45	30	14
Silte	%	12	36	16	1
Areia	%	14	19	54	85

***** Metodologia: P, K, Cu, Zn (Mehlich 1, HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M); Ca, Mg, Al (KCl 1 M); H+Al (solução tampão – SMP a pH 7,5); pH (em água); análise textural (método da pipeta).

Realizou-se a determinação da densidade das amostras dos quatro solos (Tabela 2), pelo método da proveta, descrita pela Embrapa (1997). Este método é uma alternativa para experimentos em vasos, onde amostras de solo são desagregadas para preencher os vasos compondo a unidade experimental.

Tabela 2: Densidade das amostras dos solos utilizados no experimento

Solos	Densidade
	g cm^{-3}
Muito Argiloso	0,96
Argiloso	1,30
Médio	1,25
Arenoso	1,35

Com os resultados da análise química dos solos, foi determinada a necessidade de calagem pelo método da saturação por bases, descrito por Raij e colaboradores (1996), com o objetivo de elevá-la à 60% (Tabela 3).

Tabela 3: Necessidade de calagem em equivalente de $CaCO_3$ com 100% de PRNT, para amostras dos solos utilizados no experimento, considerando as respectivas densidades das amostras dos solos

Unidade	Solos			
	Muito Argiloso	Argiloso	Médio	Arenoso
Mg ha^{-1}	1,89	3,43	0,56	1,91
mg $vaso^{-1}$	271,14	667,95	105,87	387,35

3.3 Corretivos utilizados

Foram utilizadas três fontes de silicatos, originados de diferentes escórias de siderurgia, sendo estes: Agrosilício, Silifértil e Holcim, por serem os mais representativos quanto ao uso na agricultura como corretivos agrícolas. Estes foram comparados com um calcário comercial de origem sedimentar e com o carbonato de cálcio p.a., padrão para estudos de eficiência relativa de corretivos (Tabela 4).

Tabela 4: Teores de cálcio, magnésio e silício dos corretivos utilizados

Corretivo	CaO (%)	MgO (%)	SiO_2 (%)
Agrosilício	39	10	23
Silifértil	38	8	22
Holcim	25	7	43
Calcário	30	20	0
Carbonato de cálcio	56	0	0

Para a caracterização dos corretivos quanto a sua superfície específica, foi realizada a análise da superfície específica pela equipe do Laboratório de Hidrometalurgia da Universidade Federal de Ouro Preto, utilizando-se o método de determinação por gases descrito por Brunauer e colaboradores (1938) (Tabela 5).

Tabela 5: Superfície especifica e volume total de poros dos corretivos de acidez do solo

Corretivo	Superfície Específica	Volume total de poros
	$m^2 g^{-1}$	$cm^3 g^{-1}$
Agrosilício	11,75	0,0482
Silifértil	0,66	0,0023
Holcim	0,38	0,0006
Calcário	0,91	0,0039

Fonte: Universidade Federal de Ouro Preto (Laboratório de Hidrometalurgia).

Todos os corretivos foram submetidos à uniformização de umidade, através de secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105 ºC por um período de setenta e duas horas.

Após esta etapa, os silicatos foram submetidos à separação nas seguintes frações granulométricas, através de agitador mecânico por 5 minutos, seguindo a metodologia oficial (Veras et al., 2007), fracionando os corretivos nas seguintes classes: partículas maiores que 2,00 mm (fração do corretivo retido na peneira ABNT 10 – 10 mesh), partículas entre 0,84 e 2,00 mm (fração do corretivo passante na peneira ABNT 10 e retido na peneira ABNT 20 – 20 mesh), partículas entre 0,30 e 0,84 (fração do corretivo passante na peneira ABNT 20 e retido na peneira ABNT 50 – 50 mesh) e partículas com dimensão inferior à 0,30 mm (fração do corretivo passante na peneira ABNT 50) (Figura 1).

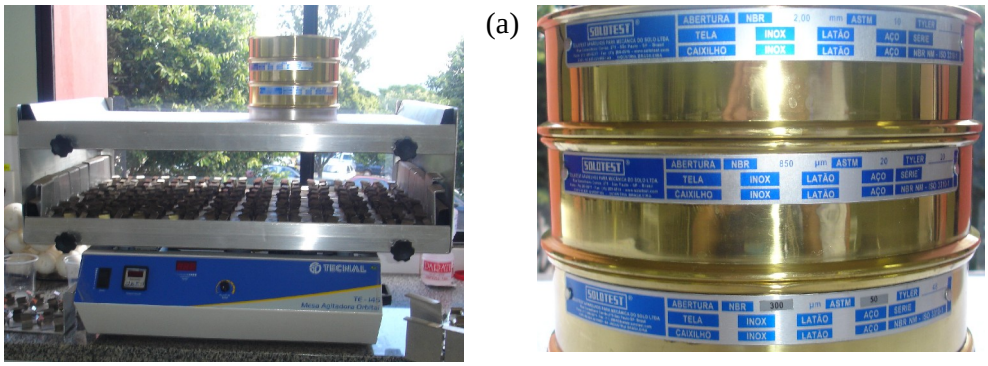


Figura 1: Mesa agitadora (a) e peneiras utilizadas para a separação dos corretivos nas diferentes frações granulométricas (b).

A definição das frações granulométricas avaliadas acompanhou os critérios atualmente adotados na legislação para calcário, além do fato de não se justificar o uso de silicatos em fração granulométrica mais fina do que as já comumente utilizadas para calcário, em função da maior abrasividade das escórias de siderurgia (PRADO et al 2001), o que tecnicamente dificulta a ação dos moinhos brasileiros, tornando a moagem para a obtenção de partículas muito finas economicamente inviável.

Após a separação das frações granulométricas, os corretivos foram submetidos à determinação do poder de neutralização (PN) pelo método da titulação, que consiste em colocar em contato uma massa conhecida do corretivo com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido padronizado, fazendo com que o corretivo neutralize uma parte do ácido. O excesso de ácido é quantificado por alcalimetria, obtendo-se indiretamente a quantidade de ácido que foi neutralizado pelo corretivo, seguindo o procedimento descrito a seguir (BRASIL, 1983).

Pesou-se 1,000 g da amostra secada, moída e passada em peneira de 0,3 mm dos corretivos (Figura 2 a) e transferiu-se o material para erlenmeyer de 250 mL, no qual adicionou-se 50 mL da solução de HCl 0,5 M padronizada. O erlenmeyer foi coberto com vidro de relógio e a solução foi fervida suavemente por 5 minutos (Figura 2 b). Após esta etapa, a solução foi esfriada, transferida para balão de 100 mL que teve seu volume completado com água destilada e deixou-se decantar (Figura 2 c). Pipetou-se 50 mL da solução que foi transferida para erlenmeyer de 125 mL, no qual se acrescentou três gotas de solução de fenolftaleina (indicador). A solução ácida foi titulada com solução padronizada de NaOH 0,25 M, até o aparecimento de uma leve cor rosada do indicador (Figura 2 d), anotou-se o volume gasto, e a partir deste valor,

calculou-se o poder de neutralização do corretivo, em % de $CaCO_3$ equivalente, pela expressão:

$$PN = \frac{10\,(25.M1 - V2M2)}{G}$$, onde:

M1 = concentração molar da solução de HCl

V2 = volume, em mL, da solução de NaOH, gasto na titulação.

M2 = concentração molar da solução de NaOH.

G = massa inicial da amostra em gramas.

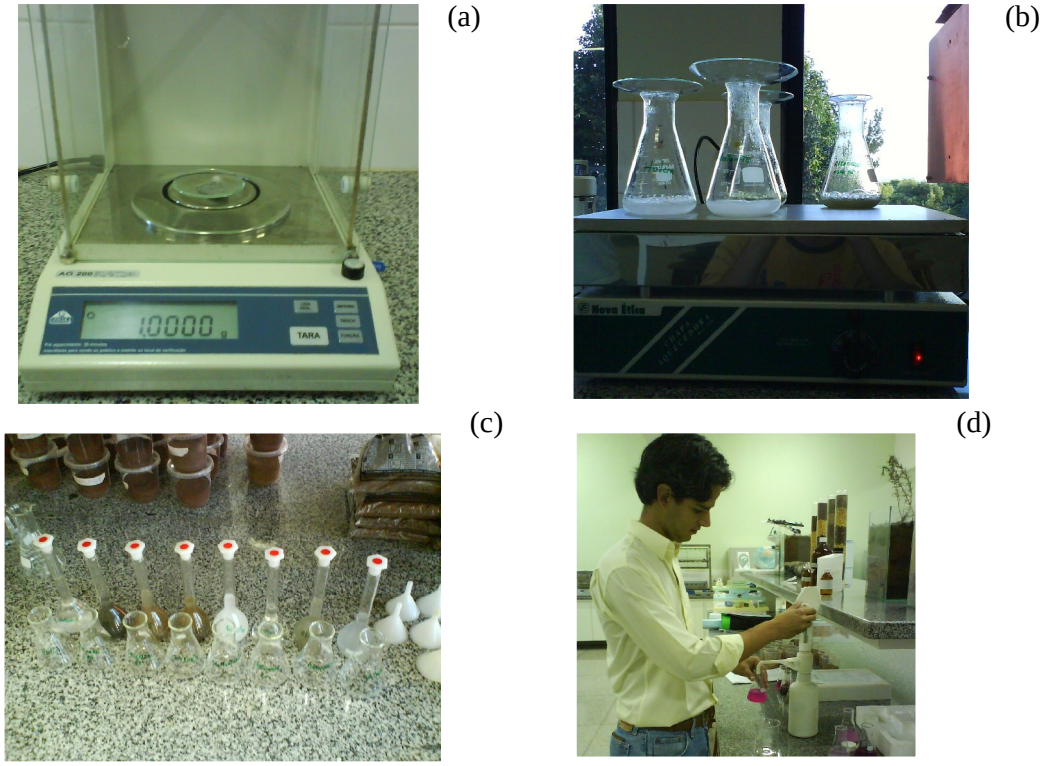


Figura 2: Ilustrações dos processos laboratoriais para determinação do PN em amostras dos materiais corretivos, desde a pesagem (a), a fervura da solução contendo a amostra do corretivo e HCl (b), a solução transferida para balão volumétrico de 100 mL em descanso para decantação (c) e a titulação até o aparecimento da coloração rosada (d).

Para os silicatos, em função de sua constituição química, a visualização da coloração rosada foi dificultada pelo escurecimento da solução (coloração esverdeada), sendo necessária a utilização do método potenciométrico, em que o excesso de HCl da solução é neutralizado por NaOH até atingir pH 7,0.

Foram encontrados valores distintos de poder de neutralização para cada um dos corretivos (Tabela 6).

Tabela 6: Poder de neutralização dos materiais corretivos de acidez do solo utilizados no experimento

Corretivos	Poder de Neutralização (%)
Agrosilício	85,9
Silifértil	77,8
Holcim	74,0
Calcário	113,1
$CaCO_3$	104,1

Com base nos valores do poder de neutralização encontrados para cada um dos corretivos e de acordo com as necessidades de calagem encontrados para cada solo, foram calculadas as doses de cada corretivo a serem aplicadas nos vasos preenchidos com 300 g de amostras dos solos (Tabela 7).

Tabela 7: Quantidade de corretivo calculada para atingir 60% de saturação por bases, para cada um dos solos experimentais

Corretivos	SOLOS			
	Muito Argiloso	Argiloso	Média	Arenoso
	---------- mg por vaso ----------			
Agrosilício	318,9	777,5	123,2	450,9
Silifértil	348,7	858,9	136,1	498,1
Holcim	366,6	903,1	143,1	523,9
Calcário	239,7	590,6	93,6	342,5
$CaCO_3$	260,5	641,6	101,2	372,1

Em função da dose dos corretivos utilizados em cada solo (Tabela 5) e da concentração de SiO_2 em cada um dos silicatos, foram calculadas as doses de Si fornecidas por cada silicato para o respectivo solo (Tabela 8).

Tabela 8: Dose de Si fornecida por cada um dos silicatos em cada solo experimental

Corretivos	Concentração de Si	SOLOS			
		Muito Argiloso	Argiloso	Média	Arenoso
	%	---------- mg por vaso ----------			
Agrosilício	10,7	34,1	83,2	13,2	48,2
Silifértil	10,3	35,9	88,5	14,0	51,3
Holcim	20,3	74,4	183,3	29,0	106,4

3.4 Tratamentos e delineamento experimental

Foram conduzidos quatro experimentos, sendo cada um em uma classe textural de solo, em delineamento inteiramente casualizado. A análise de variância foi baseada num arranjo fatorial 4x4, com quatro corretivos de acidez (três silicatos de cálcio, Agrosilício, Silifértil e Holcim, e um calcário) e quatro frações granulométricas (entre 5 e 10 mesh, partículas entre 2 e 4 mm; entre 10 e 20 mesh, partículas entre 0,84 e 2 mm; entre 20 e 50 mesh, partículas entre 0,3 e 0,84 mm e maior que 50 mesh, partículas menores que 0,3 mm), com quatro repetições.

Além dos tratamentos acima, foi realizada a incubação com $CaCO_3$ (reagente p.a.), corretivo padrão para comparação da eficiência relativa na correção da acidez do solo, sendo este utilizado em cinco diferentes doses: testemunha, 50%, 100%, 150% e 200% em relação à dose recomendada para a correção da acidez do solo para atingir 60% de saturação por bases (Tabela 3).

3.4 Condução do experimento

As parcelas experimentais constituíram-se de recipientes plásticos de 500 mL, nos quais foram adicionados 300 g de solo, e as devidas quantidades dos corretivos, que posteriormente foram incubados em recipientes abertos por trinta e noventa dias, em laboratório sem exposição à radiação solar direta e a intensas variações de temperatura (Figura 3 a, b).

Durante o período de incubação, os solos foram irrigados com água destilada para a manutenção da umidade a 80% da capacidade de campo (Figura 3 c).

Após 30 e 90 dias de incubação, frações de 50 g de cada uma das amostras foram retiradas e colocadas para secar ao ar (Figura 3 d).

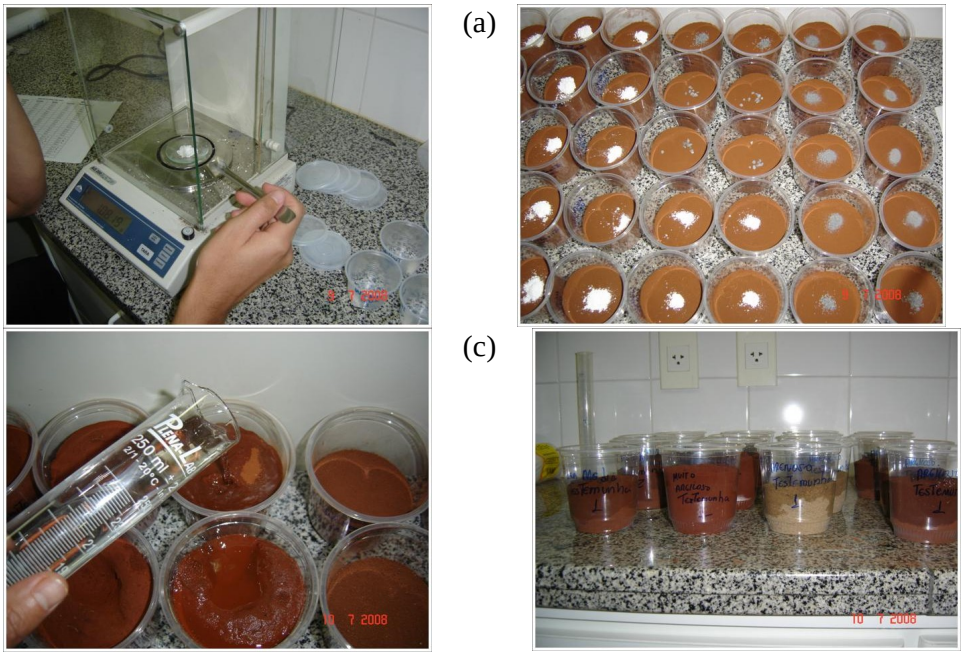


Figura 3: Pesagem dos corretivos (a), adição dos corretivos nos recipientes plásticos contendo as amostras dos solos (b), irrigação das amostras dos solos (c), e incubação em laboratório por 30 e 90 dias (d).

3.5 Determinação do pH do solo após a incubação e avaliação da eficiência relativa

Para a caracterização da correção da acidez do solo, foi determinado o pH, em $CaCl_2$, em cada unidade experimental. Esta variável de cada fração granulométrica dos silicatos de cálcio foi confrontada com os valores obtidos através da curva de incubação do $CaCO_3$ (reagente p.a.).

A análise do pH foi realizada seguindo a metodologia descrita pelo Programa Interlaboratorial de controle de qualidade de análise de solo (2005), em que se colocou 10 cm^3 de TFSA num frasco de 50 mL e adicionou-se 25 mL de $CaCl_2$ $2H_2O$ 0,01 M (1,469 g L^{-1}), deixando em contato por quinze minutos. Posteriormente, agitou-se a amostra em agitador horizontal por dez minutos a 200 rpm. Após esta etapa, a solução foi mantida em repouso por sessenta minutos. Na sequência, sem agitar novamente a amostra, foi realizada a leitura em potenciômetro, devidamente calibrado com soluções-padrão de pH 4,0 e 7,0.

Os valores de pH obtidos por cada fração granulométrica de cada um dos corretivos foram confrontados com os valores de pH obtidos na curva de incubação de $CaCO_3$, obtendo-se os valores de equivalente em $CaCO_3$ aos 90 dias.

Os valores de eficiência relativa foram ajustados em relação aos resultados obtidos por cada corretivo na fração granulométrica inferior à 0,3 mm (> 50 mesh), atribuindo-se a esta fração mais fina o índice de 100%, seguindo a metodologia adotada por Bellingieri (1983).

3.6 Avaliação do teor de Si no solo após a incubação

Para a avaliação do teor de Si no solo, disponibilizado por cada uma das fontes nas frações granulométricas, foram realizadas as análises no Laboratório de Análise de Fertilizantes da Universidade Federal de Uberlândia, utilizando o extrator cloreto de cálcio 0,01 M, de acordo com a metodologia descrita por Korndörfer e colaboradores (2004), em que, após o contato de 10 g da amostra do solo com 100 mL da solução extratora, os mesmos foram submetidos a um agitador horizontal orbital por 1 hora, na freqüência de 50 rpm. Após este procedimento, as amostras ficaram em repouso por 15 minutos para decantar, e a suspensão foi filtrada, e ficando sob novo repouso por 12 horas. Então, pipetou-se 10 mL do extrato de cada amostra, acrescentando-se 1 mL de solução sulfo-molíbdica. Decorridos 10 minutos, acrescentou-se 2 mL de solução de ácido tartárico 200 mg L^{-1}, e após 5 minutos, adicionou-se 10 mL da solução de ácido ascórbico. Após 1 hora, foi realizada a leitura em espectofotômetro UV-visível, no comprimento de onda de 660 nanômetros. Em função do fator de diluição, o valor de leitura foi multiplicado por 10, para se chegar no teor de Si do solo em mg dm^{-3}.

3.7 Análise estatística

Os resultados referentes ao pH em $CaCl_2$ encontrados em função das doses de $CaCO_3$ foram submetidos à análise de variância, e posterior ajuste ao modelo de regressão mais adequado para cada solo dentro dos dois períodos de incubação, utilizando o software estatístico Sisvar, desenvolvido por Ferreira (1999).

Os dados referentes ao pH, em $CaCl_2$, e ao teor de Si no solo encontrados em função dos corretivos (silicatos e calcário) em cada fração granulométrica foram submetidos à análise de variância, e suas médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade, quanto à variação dos corretivos dentro de cada fração granulométrica e quanto à variação das frações granulométricas dentro dos corretivos.

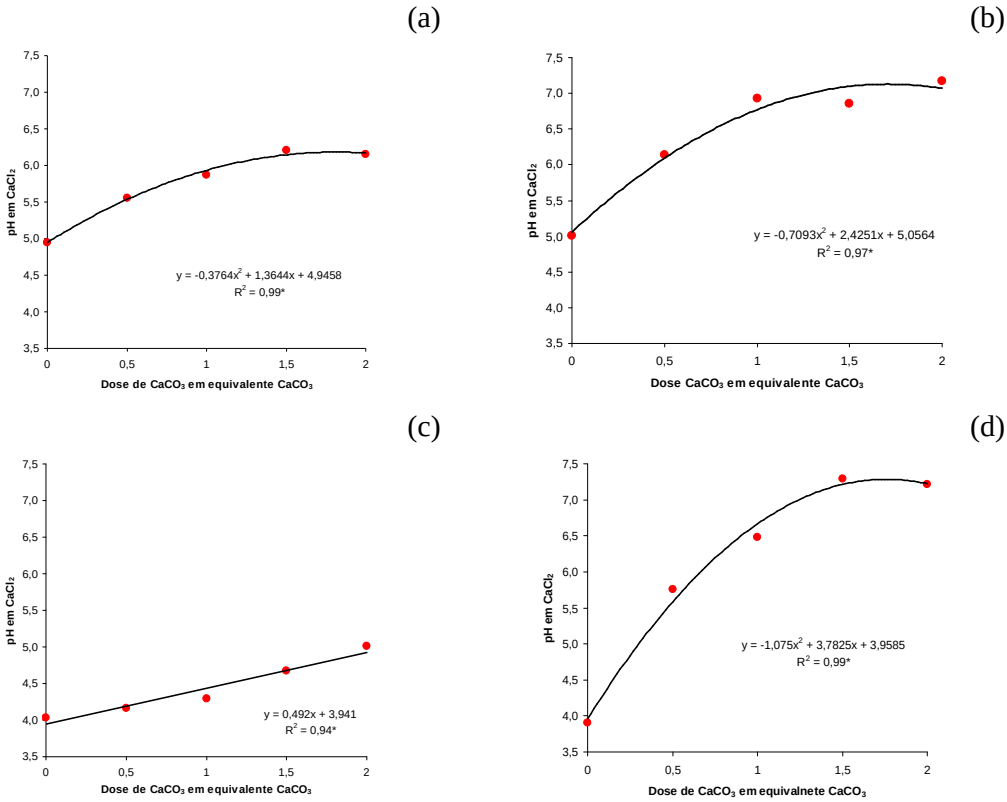
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variações no pH aos 30 dias de incubação

Em relação à variável pH em $CaCl_2$, houve efeito significativo das doses de $CaCO_3$ para os quatro solos analisados, o que possibilitou o ajuste de modelos de regressão (Figura 4).

Para os valores de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo e fração granulométrica utilizados, a análise de variância também permitiu constatar efeito significativo, inclusive para a interação entre estes fatores (Tabela 9). Em geral, quanto menor a fração granulométrica, maior o pH do solo, resultado este que concorda com o trabalho realizado anteriormente por Alcarde e colaboradores (1989).

Novais e colaboradores (1993) também descreveram que a granulometria mais fina das escórias de siderurgia permitiu maior reatividade tanto em solos arenosos, quanto em solos argilosos.



* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Figura 4: Valores do pH em $CaCl_2$, em função da dose equivalente de $CaCO_3$ aplicada ao solo após 30 dias de incubação, nos solos: muito argiloso (a), argiloso (b), médio (c), arenoso (d).

Para os solos: muito argiloso, argiloso e arenoso, pode-se observar que com as doses de $CaCO_3$, dentro do limite de 0 a 200%, em relação à recomendação para atingir 60% de saturação por bases, o pH em $CaCl_2$ aumentou significativamente de maneira quadrática. Entretanto, observou-se para o solo de textura média, um ajuste linear. Este efeito pode ser atribuído ao fato das doses do corretivo utilizado não terem sido suficientes para atingir a faixa de estabilidade.

Através da amplitude de variação nos valores de pH, em função do acréscimo nas doses de $CaCO_3$, pode-se observar o maior efeito tampão dos solos muito argiloso e argiloso, em relação ao solo arenoso e de textura média, informação esta que corrobora aos relatos de Furtini e colaboradores (2001). O poder tampão do solo é a resistência que o solo oferece a mudança de pH. Sousa e colaboradores (2007), exemplificando a proporcionalidade dos diferentes tipos de acidez do solo, relatam que a quantidade de calcário necessária para neutralizar a acidez ativa pode chegar a quatorze mil setecentos e vinte e três vezes menor do que o necessário para a correção da acidez potencial do solo, o que evidencia a importância do conhecimento do poder tampão do solo para se determinar a dose do corretivo.

Pode-se observar que os resultados de pH em $CaCl_2$, em função dos corretivos e das frações granulométricas para os solos muito argiloso, argiloso, médio e arenoso submetidos a 30 dias de incubação ocorreram de forma que quanto menor a granulometria do corretivo maior foi o aumento no valor de pH encontrado nos solos (Tabela 9).

Tabela 9: Valores de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo de solo utilizado, na dose referente à elevação da saturação por bases para 60%, e da fração granulométrica após 30 dias de incubação, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso

Corretivo	Peneira ABNT (mesh)				
	5 - 10	10 - 20	20 – 50	> 50	Média
			Solo muito argiloso		
Agrosilício	5,1 Ac	5,1 Ac	5,7 Ab	5,9 Aa	5,5
Silifértil	4,9 Ad	5,3 Ac	5,6 Ab	6,0 Aa	5,4
Holcim	5,0 Ab	4,9 Bb	4,9 Cb	5,3 Ca	5,0
Calcário	4,9 Ac	5,0 Bc	5,4 Bb	5,7 Ba	5,3
Média	5,0	5,1	5,4	5,7	5,3
			Solo argiloso		
Agrosilício	5,1 Ac	5,3 Ac	6,1 Ab	6,5 Aa	5,7
Silifértil	5,3 Ac	5,2 Ac	5,9 Ab	6,6 Aa	5,7
Holcim	5,1 Ab	5,1 Ab	5,1 Cb	5,5 Ba	5,2
Calcário	5,1 Ac	5,2 Ac	5,6 Bb	6,5 Aa	5,6
	5,1	5,2	5,6	6,3	5,6
			Solo médio		
Agrosilício	4,0 Ac	4,1 Ac	4,1 Ab	4,3 Aa	4,1
Silifértil	4,0 Ab	4,0 Ab	4,1 Aa	4,2 Ca	4,1
Holcim	4,0 Ab	4,0 Ab	4,0 Bb	4,1 Ca	4,0
Calcário	4,0 Ab	4,1 Ab	4,1 Bb	4,2 Ba	4,1
Média	4,0	4,0	4,1	4,2	4,1
			Solo arenoso		
Agrosilício	4,0 Ac	4,3 Ac	5,5 Ab	6,3 Aa	5,0
Silifértil	4,0 Ac	4,2 Ac	5,2 Bb	6,5 Aa	5,0
Holcim	4,0 Ab	4,1 Ab	4,2 Cb	5,0 Ba	4,3
Calcário	4,0 Ac	4,0 Ac	5,0 Bb	6,3 Aa	4,8
Média	4,0	4,2	4,9	6,0	4,8

* Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas na coluna e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas na linha (Scott-Knott, a 5%).

No solo muito argiloso, o Agrosilício e o Silifértil proporcionaram a maior elevação do pH do solo, em relação aos demais corretivos em todas as faixas granulométricas passantes na peneira de 10 mesh, ou seja, quando a granulometria foi inferior a 2 mm, em frações maiores que esta o efeito do corretivo foi muito pequeno, não havendo diferença entre os corretivos (Tabela 9).

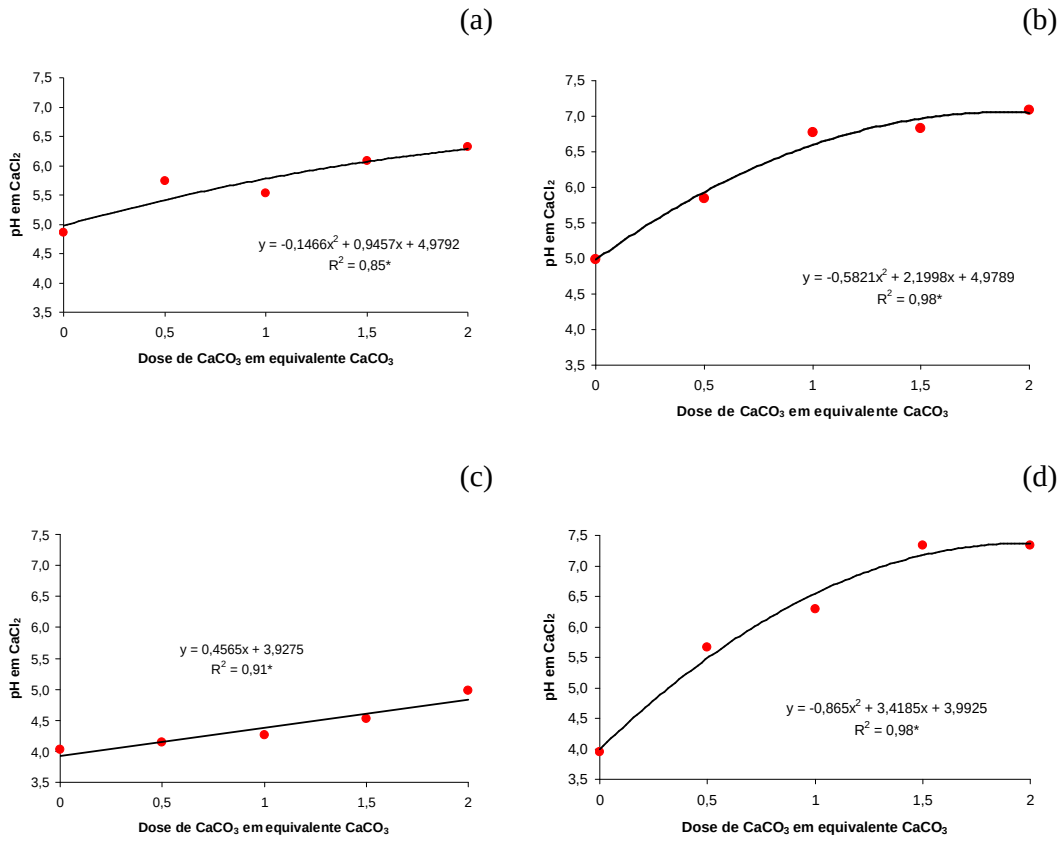
Para os demais solos, os corretivos não apresentaram diferenças quanto ao aumento provocado no pH do solo, quando aplicados em granulometria acima de 0,84 mm, ou seja, produtos retidos na peneira de 10 mesh. Para as granulometrias mais finas,

os corretivos apresentaram diferenças no aumento do pH, ficando os solos que receberam o silicato Holcim com os menores valores.

De maneira geral, para as granulometrias mais finas, inferior a 0,84 mm (passantes na peneira de 20 mesh), o Agrosilício e o Silifértil proporcionaram os maiores incrementos em pH, exceto para o produto mais fino, > 50 mesh, no solo de textura média, e para o produto de granulometria entre 0,3 e 0,84 mm (ABNT 20 – 50), no solo arenoso, em que o Agrosilício obteve os melhores resultados (Tabela 9).

4.2 Variações no pH, equivalente em $CaCO_3$ e eficiência relativa dos corretivos aos 90 dias de incubação

Houve efeito significativo das doses de $CaCO_3$ nos valores de pH em $CaCl_2$ para os quatro solos analisados, o que possibilitou o ajuste de modelos polinomiais (Figura 5).



* Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste f.

Figura 5: Valores do pH em $CaCl_2$, em função da dose equivalente de $CaCO_3$ aplicada ao solo após 90 dias de incubação, nos solos: muito argiloso (a), argiloso (b), médio (c), arenoso (d).

Para os solos: muito argiloso, argiloso e arenoso (Figura 5 a, b, d), como era de se esperar, as doses de $CaCO_3$, dentro do limite de 0 a 200% em relação à recomendação, aumentaram significativamente e de forma quadrática o pH em $CaCl_2$.

Acompanhando a tendência observada após 30 dias de incubação para o solo de textura média, verificou-se um ajuste linear para o aumento do valor de pH em $CaCl_2$, em função de doses de $CaCO_3$. Este efeito pode ser atribuído ao fato das doses do corretivo utilizado não terem sido suficientes para atingir a faixa de estabilidade.

Para as variações de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo e fração granulométrica utilizados, também houve efeito significativo, inclusive para a interação entre estes fatores (Tabela 10).

Tabela 10: Valores de pH em $CaCl_2$, em função do corretivo de solo utilizado, na dose referente à elevação da saturação por bases para 60%, e da fração granulométrica após 90 dias de incubação, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso

Corretivo	Peneira ABNT (mesh)				
	5 - 10	10 - 20	20 – 50	> 50	Média
			Solo muito argiloso		
Agrosilício	5,0 Ad	5,2 Ac	5,6 Ab	5,7 Aa	5,4
Silifértil	5,0 Ac	5,1 Ac	5,5 Ab	5,8 Aa	5,3
Holcim	4,9 Ab	4,8 Cb	4,8 Bb	5,3 Ba	5,0
Calcário	4,9 Ac	5,0 Bc	5,5 Ab	5,7 Aa	5,3
Média	5,0	5,0	5,3	5,6	5,2
			Solo argiloso		
Agrosilício	5,2 Ab	5,3 Ab	6,1 Aa	6,2 Aa	5,7
Silifértil	4,9 Cd	5,3 Ac	5,8 Bb	6,3 Aa	5,6
Holcim	5,0 Bb	5,0 Bb	5,1 Db	5,5 Ca	5,1
Calcário	5,1 Bd	5,2 Ac	5,6 Cb	6,2 Ba	5,5
Média	5,0	5,2	5,6	6,0	5,5
			Solo médio		
Agrosilício	4,0 Ad	4,1 Ac	4,2 Ab	4,3 Aa	4,2
Silifértil	4,1 Ac	4,1 Ac	4,2 Ab	4,3 Aa	4,2
Holcim	4,1 Ab	4,1 Ab	4,1 Cb	4,1 Ba	4,1
Calcário	4,0 Ab	4,1 Ab	4,1 Bb	4,3 Aa	4,1
Média	4,0	4,1	4,1	4,2	4,1
			Solo arenoso		
Agrosilício	4,0 Ac	4,4 Ab	5,9 Aa	6,1 Aa	5,1
Silifértil	4,0 Ac	4,3 Ac	5,5 Ab	6,4 Aa	5,1
Holcim	3,9 Ab	4,0 Ab	4,2 Bb	4,8 Ba	4,3
Calcário	4,0 Ac	4,2 Ac	5,5 Ab	6,3 Aa	5,0
Média	4,0	4,2	5,3	5,9	4,9

* Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas na coluna e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas na linha (Scott-Knott, a 5%).

No solo muito argiloso e no solo arenoso, o Agrosilício, o Silifértil e o calcário proporcionaram maior elevação no pH do solo em relação ao Holcim, nos corretivos com granulometria inferior a 0,84 mm, passantes na peneira de 20 mesh. Quando se comparam estes resultados com os obtidos aos 30 dias de incubação, observa-se a inclusão do calcário entre os corretivos com melhores resultados de aumento de pH no solo muito argiloso. Este fato demonstrou que, para este solo, os silicatos Agrosilício e Silifértil tiveram uma maior dissociação aos 30 dias, fato este que foi compensado pelo calcário entre 30 e 90 dias de incubação (Tabela 10).

Os valores de pH do solo argiloso, após 90 dias de incubação, demonstraram que o Agrosilício proporcionou os maiores valores de pH em todas as frações granulométricas, ficando este em igualdade com o Silifértil na granulometria inferior a 0,3 mm (> 50 mesh), e entre 0,8 mm e 2,0 mm (10 a 20 mesh), sendo que, nesta última fração granulométrica, o calcário também se igualou aos dois corretivos acima mencionados (Tabela 10).

No solo de textura média, as diferenças ocorreram apenas nas frações granulométricas inferiores a 0,8 mm (peneira de 20 mesh), com melhores resultados atribuídos ao Agrosilício, Silifértil e ao calcário na fração mais fina (> 50 mesh), e ao Agrosilício e ao Silifértil na fração compreendida entre 0,3 e 0,84 mm (20 a 50 mesh).

Para o solo arenoso, o Agrosilício, o Silifértil e o calcário proporcionaram maiores valores de pH nas frações granulométricas inferiores a 0,84 mm, enquanto que, nas frações mais grossas, todos os corretivos tiveram o mesmo comportamento.

Para todos os solos utilizados no experimento, verificou-se que quanto menor a dimensão das partículas, maiores são os incrementos gerados nos valores de pH em $CaCl_2$ (Tabela 10), resultado este que concorda com trabalhos realizados anteriormente por Bellingieri e colaboradores (1989).

Nas comparações entre os resultados dos valores de pH das amostras de solo após 30 e 90 dias de incubação, os resultados praticamente se equivalem, demonstrando que 30 dias de incubação foi um período suficiente para a ação dos corretivos.

Com base nos incrementos verificados no pH das amostras dos solos pelos corretivos de acidez, em cada fração granulométrica, em relação às curvas de incubação com $CaCO_3$, calculou-se os valores de equivalente em $CaCO_3$ para cada corretivo dentro de cada fração granulométrica com 90 dias de incubação (Tabela 11).

Tabela 11: Equivalente, em $CaCO_3$, dos corretivos de acidez de diferentes frações granulométricas aos 90 dias de incubação

Corretivos	Peneiras ABNT (mesh)				
	5 – 10	10 - 20	20 - 50	> 50	Média
	---------- % ----------				
Agrosilício	9 Ac	24 Ab	64 Aa	77 Aa	43
Silifértil	9 Ac	19 Ac	52 Ab	87 Aa	42
Calcário	8 Ac	13 Ac	33 Bb	79 Aa	33
Holcim	7 Ab	7 Ab	10 Cb	33 Ba	14
Média	8	16	39	69	33

* Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas na coluna e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas na linha (Scott-Knott, a 5%).

Os resultados de equivalente em $CaCO_3$ apresentados para 90 dias de incubação (Tabela 11), demonstraram grande variação para este atributo entre os corretivos de acidez, o que evidencia que não apenas a granulometria, mas também a origem dos corretivos exerce grande influência na velocidade de correção da acidez do solo.

Para as frações granulométrica mais grossas (< 10 e 10 a 20 mesh), pode-se observar que não houve diferença entre os corretivos, já na fração mais fina (> 50), o silicato Holcim proporcionou menores valores de equivalente em $CaCO_3$, em relação as demais fontes. Na fração granulométrica entre 20 e 50 (Tabela 11), verificou-se diferenças entre o equivalente em $CaCO_3$ de silicatos e do calcário, o que demonstrou o fato de estarmos, neste caso, subestimando a reatividade dos silicatos. Pode-se observar que não houve diferenças entre os resultados obtidos com a aplicação dos silicatos Agrosilício e Silifértil, portanto, sugere-se a elaboração de novos parâmetros para a avaliação de silicatos com origem de aciaria.

Seguindo os critérios adotados por Bellingieri (1983) de ajustar a eficiência dos corretivos atribuindo valores de 100% para as partículas passantes na peneira 50 ABNT (partículas inferiores a 0,3 mm), determinou-se a eficiência relativa de cada uma das frações granulométricas dos corretivos, permitindo a adoção de novos critérios de reatividade para os silicatos (Tabela 12).

Tabela 12: Eficiências relativas, em relação à fração granulométrica inferior a 0,3 mm (peneira 50 mesh), dos corretivos de acidez em diferentes frações granulométricas aos 90 dias de incubação

Corretivos	Peneiras ABNT (mesh)				
	5 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50	Média
	---------- % ----------				
Agrosilício	12	33	85	100	58
Silifértil	9	25	65	100	50
Holcim	16	17	27	100	40
Calcário	9	18	63	100	48
Média	12	23	60	100	

Propõe-se a adequação da equação atualmente adotada para a determinação da eficiência relativa (reatividade) de silicatos de origem de aciaria para uso como corretivo de acidez, em função das diferenças encontradas em eficiência relativa, apresentadas na Tabela 12, entre os silicatos de origem de escória de aciaria (Agrosilício e Silifértil), em relação ao calcário, ficando a mesma da seguinte forma:

$$\% RE = \% F_{10-20} \times 0,3 + \% F_{20-50} \times 0,75 + \% F_{>50} \times 1$$

Onde:

$\%F_{10-20}$= percentual de produto que passa pela peneira nº10 e fica retido na peneira nº20; $\% F_{20-50}$ = percentual de produto que passa pela peneira nº20 e fica retido na peneira nº50; e F_{-50} = percentual de produto que passa pela peneira nº50.

Os valores de eficiência relativa, 12% em média, para a fração granulométrica mais grosseira, pode estar associado à presença de micropartículas (pó) aderidas ao redor das partículas mais grossas (Tabela 12), já que a separação granulométrica seguiu o método oficial de separação em peneiras a seco.

4.3 Teor de silício no solo após 30 dias de incubação

De maneira geral, pode-se observar que o Agrosilício proporcionou maiores incrementos de Si no solo, obtendo no solo argiloso, quando aplicado na fração granulométrica mais fina, incremento de 10 mg dm^{-3} (Tabela 13).

Tabela 13: Teor de Si no solo, em função da fração granulométrica e do corretivo utilizado, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso após 30 dias de incubação

	Peneiras ABNT (mesh)				
Corretivos	5 - 10	10 - 20	20 – 50	> 50	Média
	---------- Si (mg kg^{-1}) ----------				
	Solo muito argiloso				
Agrosilício	7 Aa	8 Aa	9 Aa	8 Aa	8
Silifértil	7 Aa	7 Aa	7 Ba	7 Aa	7
Holcim	6 Aa	6 Aa	6 Ba	6 Ba	6
Calcário	7 Aa	6 Aa	5 Ba	5 Ba	6
Média	6	7	7	6	6
	Solo argiloso				
Agrosilício	6 Ad	10 Ac	14 Ab	15 Aa	11
Silifértil	7 Ac	6 Bc	10 Bb	12 Ba	9
Holcim	6 Ab	5 Bb	6 Cb	9 Ca	7
Calcário	5 Ba	5 Ba	4 Da	2 Db	4
Média	6	6	8	10	8
	Solo médio				
Agrosilício	10 Aa	10 Aa	10 Aa	10 Aa	10
Silifértil	9 Aa	9 Aa	10 Aa	10 Aa	9
Holcim	8 Ba	9 Aa	9 Ba	10 Aa	9
Calcário	9 Ba	9 Aa	9 Ba	8 Bb	9
Média	9	9	9	9	9
	Solo arenoso				
Agrosilício	4 Ab	5 Ab	8 Aa	9 Aa	6
Silifértil	3 Ac	5 Ab	7 Aa	7 Ba	6
Holcim	3 Ab	4 Aa	4 Ba	6 Ca	4
Calcário	3 Aa	3 Ba	3 Ca	2 Da	3
Média	3	4	6	6	5

* Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas na coluna e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas na linha (Scott-Knott, a 5%).

No solo muito argiloso, as frações mais grossas dos corretivos, com partículas superiores a 0,84 mm (< 20 mesh), não apresentaram diferenças quanto ao fornecimento

de Si ao solo, porém, quando se avaliaram as frações mais finas, observou-se maiores valores de Si para o Agrosilício na fração de 0,3 a 0,84 mm (20 a 50 mesh), e para o Agrosilício e o Silifértil, quando o corretivo foi aplicado na granulometria inferior a 0,3 mm (> 50 mesh), estes resultados também se repetiram no solo arenoso (Tabela 13).

Para o solo argiloso, o Agrosilício foi o silicato que promoveu maiores valores de Si no solo, quando também se avaliaram as frações granulométricas inferiores a 2,0 mm (> 10 mesh), apenas para a fração mais grossa, maior que 2,0 mm, o Agrosilício, o Silifértil e o Holcim não diferiram estatisticamente, variando apenas em relação ao calcário, que é o único corretivo avaliado que não apresenta Si em sua constituição.

No solo de textura média, o Agrosilício e o Silifértil proporcionaram a mesma eficiência no fornecimento de Si para o solo (frações 20 a 50 mesh e < 10 mesh), na fração mais fina (> 50 mesh), os três silicatos avaliados resultaram nos mesmos valores de Si no solo, deferindo apenas do calcário, já na fração entre 10 a 20 mesh, todos os corretivos proporcionaram o mesmo resultado.

De maneira geral, a granulometria não resultou em diferenças no fornecimento de Si pelos silicatos, exceto no solo argiloso, em que se observa que quanto menor a granulometria, maior foi o teor de Si no solo (Tabela 13).

Ao se avaliar os efeitos do calcário em relação ao teor de Si no solo, pode-se observar que quanto menor a fração granulométrica do calcário, menores os teores de Si no solo. Este fato pode estar associado a maior alteração causada no pH do solo pelas frações mais finas do calcário, reduzindo assim sua disponibilidade de Si, corroborando aos dados de McKeague e Cline (1963), em que o aumento, de pH de 6 para 9, reduziu de 36 para 6 mg dm^{-3} a concentração de Si solúvel.

4.4 Teor de silício no solo após 90 dias de incubação

De maneira geral, pode-se observar que o Agrosilício promoveu maior incremento de Si no solo após 90 dias de incubação, exceto para a fração granulométrica entre 20 a 50 mesh e no solo de textura média, em que o Silifértil e o Holcim obtiveram resultados semelhantes ao Agrosilício (Tabela 14).

Quanto às frações granulométricas, observou-se que quanto menor a fração granulométrica, independente do silicato, maior foi o fornecimento de Si ao solo, seguindo a tendência encontrada por Oliveira e colaboradores (1994), em que escórias

de alto forno com partículas menores que 0,3 mm foram mais eficientes no fornecimento de Ca e Mg para o solo, quando comparadas as frações mais grosseiras.

Tabela 14: Teor de Si no solo, em função da fração granulométrica e do corretivo utilizado, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso após 90 dias de incubação

Corretivos	Peneiras ABNT (mesh)				
	5 - 10	10 - 20	20 - 50	> 50	Média
	---------- Si (mg kg^{-1}) ----------				
	Solo muito argiloso				
Agrosilício	8 Ab	9 Aa	9 Aa	9 Aa	9
Silifértil	6 Bb	7 Bb	7 Ba	8 Ba	7
Holcim	7 Bb	7 Bb	6 Cb	8 Ba	7
Calcário	6 Ba	6 Ba	5 Db	5 Cb	6
Média	7	7	7	7	7
	Solo argiloso				
Agrosilício	7 Ac	11 Ab	13 Aa	13 Aa	11
Silifértil	5 Bc	7 Bb	9 Ba	9 Ba	8
Holcim	6 Bb	5 Cb	6 Cb	9 Ba	7
Calcário	4 Ca	4 Da	4 Da	3 Cb	4
Média	5	7	8	9	7
	Solo médio				
Agrosilício	10 Aa	11 Aa	10 Aa	11 Aa	11
Silifértil	10 Ba	10 Ba	10 Aa	10 Ba	10
Holcim	10 Bb	10 Bb	10 Ab	11 Aa	10
Calcário	9 Ba	10 Ba	9 Bb	8 Cc	9
Média	10	10	10	10	10
	Solo arenoso				
Agrosilício	4 Ac	6 Ab	7 Aa	7 Aa	6
Silifértil	3 Bc	4 Bb	6 Ba	6 Ba	5
Holcim	3 Bc	3 Cb	4 Cb	5 Ca	4
Calcário	2 Ca	2 Da	2 Da	2 Da	2
Média	3	4	5	5	4

* Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas na coluna e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas na linha (Scott-Knott, a 5%).

Para todos os solos analisados, observou-se a seguinte sequência para o teor de Si: Agrosilício > Silifértil > Holcim > Calcário. Fato este que acompanha a tendência observada na avaliação da reatividade na correção da acidez do solo, exceto para o calcário, por não apresentar Si em sua constituição.

Korndörfer e colaboradores (2004) apresentaram a solubilidade de diferentes silicatos, evidenciando que o Agrosilício (escória de aciaria) apresentou maiores valores de solubilidade, em relação aos valores obtidos pela escória de alto forno, como o Holcim, com valores de 43% e 7%, respectivamente. Estas diferenças em solubilidade explicam os valores encontrados tanto na avaliação aos 30, como aos 90 dias de incubação.

Pereira e colaboradores (2004), em trabalho para a avaliação da eficiência de fontes de Si para a cultura do arroz, encontraram que a fonte que proporcionou mais extração de Si para os grãos foi a escória oriunda da produção de aço inox, dado que corrobora os resultados encontrados neste trabalho, em que o Agrosilício (escória de aciaria) apresentou maior disponibilização de Si para o solo.

Nas comparações entre os resultados do teor de Si no solo após 30 e 90 dias de incubação, os resultados praticamente se equivalem, demonstrando que 30 dias foi um período suficiente para que os silicatos fornecessem Si.

Comparando o teor de Si antes da aplicação dos corretivos com o teor de Si no solo, após a aplicação dos corretivos e após 90 dias de incubação, verificou-se expressivo acréscimo no teor Si no solo ocasionado pelos silicatos, principalmente, para o Agrosilício que incrementou na média entre as frações granulométricas 2, 6, 1 e 3 mg dm^{-3} de Si nos solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso, respectivamente. O Silifértil também forneceu Si ao solo elevando em 1, 4, 0 e 3 mg dm^{-3} o teor de Si nos solos, muito argiloso, argiloso, médio e arenoso, respectivamente. Já o Holcim, apresentou incrementos de 0, 2, 0 e 1 mg dm^{-3}, respectivamente, para os solos: muito argiloso, argiloso, médio e arenoso.

5 CONCLUSÕES

Os silicatos Agrosilício e o Silifértil proporcionam maiores valores de eficiência relativa na correção da acidez do solo, em comparação ao calcário e ao silicato Holcim, na fração granulométrica entre 0,30 e 0,84 mm.

Quanto menor a fração granulométrica do silicato, maior é a eficiência relativa na correção da acidez do solo e maior é o fornecimento de Si para o solo.

O Agrosilício apresenta melhores resultados no fornecimento de Si ao solo, seguido do Silifértil e do Holcim.

O período de 30 dias, em condições de umidade mantida à 80% da capacidade de campo, é um período suficiente para a correção da acidez do solo e fornecimento de Si pelos silicatos ao solo.

6 REFERÊNCIAS

ALCARDE, J.C.; PAULINO, V.T.; DERNARDIN, J. S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 13, p. 387-392. 1989.

ALCARDE, J.C. **Corretivos de acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA. 1992. 24p. (Boletim Técnico , 6).

ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Avaliação química de corretivos de acidez para fins agrícolas: uma nova proposição. **Scientia Agrícola.** Piracicaba, v. 53, n. 2 – 3, 1996.

ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação.** Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.

ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 615-646.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CALCÁRIO. **Calcário agrícola – Brasil:** consumo aparente por estado (1992 – 2006). Disponível em: <http://www.calcario-rs.com.br>. Acesso em: 25 de novembro de 2008.

BALASTRA, M.L.F.C.; PEREZ, C.M.; JULIANO, B.O.; VILLAREAL, P. Effects of sílica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hull. **Canadian Journal of Botany**. Ottawa, v. 67. p. 2356-2363, 1989.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G. H.; PRABHU, A. S.; DATNOFF, L. E.; KORNDÖRFER, G. H. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informações agronômicas.** v. 89, p. 1-8, 2000.

BELLINGIERI, P.A. **Avaliação em laboratório da eficiência de diferentes frações granulométricas de calcários agrícolas.** 1983, 99f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C. & SOUZA, E.C.A. Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 45, n. 2. p. 579-588, 1988.

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C.; SOUZA, E.C.A. de. Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.46, n.2, 1989. p. 303-317.

BELLINGIERI, P.A.; SOUZA, E.C.A.; ALCARDE, J.C.; SHIKASHO, H.W. Importância da reatividade do calcário sobre a produção e algumas características da soja. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 49, p. 61-71, 1992.

BRASIL, MAPA. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes.** Brasília, 1983. 104p.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. In: **Journal of the American Chemical Society**, New York, v. 60. p. 309-19, 1938.

CATANI, R.A.; ALONSO, O. Avaliação e exigência de calcário do solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**. Piracicaba, v. 26, p. 141-156. 1969

CATE, R. **Sugestões para adubação com base na análise de solos**. Raleigh: North Caroline State University, 1965. 16p.

DAYANADAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRANKLIN, C.L. Detection of sílica in plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 70. p. 1079-1084. 1983.

DEFELIPO, B.V.; BRAGA, J.M.; SPIES, C. Comparação entre métodos de determinação da necessidade de calcário de solos de Minas Gerais. **Experientiae**. v. 13. p. 111-136. 1982.

EMBRAPA, C. N. P. S. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol**. Palo Alto, v. 50, 1999. p. 641 - 664.

FERREIRA, D.F. **SISVAR versão 4.3 (Build 4.1)**. Lavras: UFLA/DEX, 1999. 4 disquetes.

FURTINI NETO, A.; VALE, F.R.; RESENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252p.

GASCHO, G. J. Silicon sources for agriculture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.) **Silicon in agriculture.** Amsterdan: Elsevier, 2001. cap. 12, p. 197-207.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS/NRS, 2000. cap.2, p. 21 - 39.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

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, v. 70. p. 1-5. 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** 3. ed. Uberlândia, 2004. 28 p. (Boletim Técnico n.1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante.** 1. ed. Uberlândia, 2004. 50 p. (Boletim Técnico n.2).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** 2. ed. Uberlândia, 2003. 15 p. (Boletim Técnico n.1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Papel do silício na produção de cana-de-açúcar.** STAB v. 21 n 2. 2002. 4 p.

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

KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; HERNANI, L.C.; SILVA, W.M. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcários sul-mato-grossenses. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n. 8, p. 1443 - 1449. 1999.

LOPES, A. S., SILVA, M.C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem.** 3 ed. São Paulo, ANDA 1990. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo.** São Paulo: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola:** adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 608 p.

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

MCKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soils. **Advances in Agronomy,** New York, v. 15,n. 3, p. 339-397, 1963.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of cucumber plant in soil culture. **Soil Science Plant Nutrition**. Tokyo, v. 29. p. 463-471. 1983.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P .G. L. **Eficiência agronômica de escórias de siderurgia Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993.

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: GUERRINI, I.A., BELLOTE, A.F.J., BÜLL, L.T. (Ed.): **Seminário sobre uso de resíduos florestais e urbanos em florestas.** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. 1994. p. 77-96.

PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 61. p. 522-528, 2004.

PLESE, L. P. M. **Efeito da umidade do solo na reatividade das frações granulométricas de um calcário**. 2000, 49f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso de escória de siderurgia no Brasil**: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001. 67p.

PROGRAMA INTERLABORATORIAL DE CONTROLE DE QUALIDADE DE ANÁLISE DE SOLO. **Manual do laboratorista**. 2005. 33p.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1981. 142p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo.** Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC, Boletim 100).

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 2, 1974. p. 507-512.

SHOEMAKER, H.E.; MCCLEAN, E.; PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soil with appreciable amounts of extractable aluminium. **Soil Sci. Soc. Am. Proc**. Madison, v. 25. p. 274-277. 1961.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F .; ALVAREZ V.; V. H. ; BARROS, N. F. ; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205 – 274.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

VERAS, M. C. M. ; VIEIRA, W. ; TEIXEIRA, L. S. M. ; ALCARDE, J. C. ; OLIVEIRA, L. B. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. 1. ed. Brasília: MAPA, 2007. v. 1.

WERNER, D.; ROTH, R. Sílica metabolism. In: LAUCHILI, A.; BIELESKI, R.L. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology**. New Series, Berlin: Springer-Velag, 1983. v. 15B, p. 682-694.