

GETÚLIO COUTINHO FIGUEIREDO

**MOVIMENTAÇÃO DE CÁLCIO DE DIFERENTES FONTES
ADICIONADAS EM COLUNAS DE DOIS LATOSSOLOS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F475m
2006

Figueiredo, Getúlio Coutinho, 1978-
Movimentação de cálcio de diferentes fontes adicionadas
em colunas de dois latossolos / Getúlio Coutinho
Figueiredo. – Viçosa : UFV, 2006.
x, 60f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Hugo Alberto Ruiz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 56-60.

1. Solos - Acidez. 2. Calagem dos solos. 3. Cálcio -
Efeito no solo. 4. Solos - Correção. 5. Química do solo.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

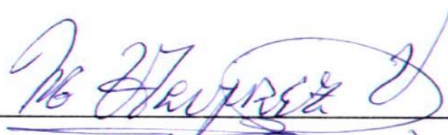
CDD 22.ed. 631.42

GETÚLIO COUTINHO FIGUEIREDO

**MOVIMENTAÇÃO DE CÁLCIO DE DIFERENTES FONTES
ADICIONADAS EM COLUNAS DE DOIS LATOSSOLOS**

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

APROVADA: 6 de julho de 2006.



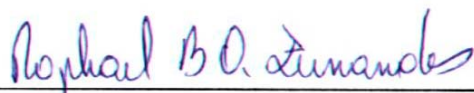
Prof. Víctor Hugo Álvarez V.

(Co-orientador)

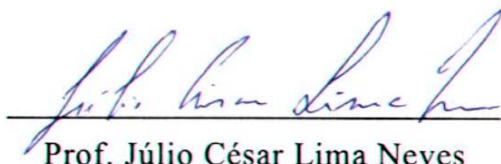


Prof. Paulo Afonso Ferreira

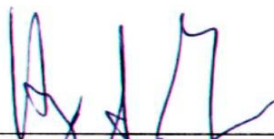
(Co-orientador)



Prof. Raphael B. A. Fernandes



Prof. Júlio César Lima Neves



Prof. Hugo Alberto Ruiz

(Orientador)

A Deus, por tudo o quanto me tem feito.

Aos meus pais *Getúlio e Iza (in memoriam)*.

Aos meus irmãos Geilson e Geíza.

Aos meus amigos Waldir e Jeanny.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença em minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela amizade, pela paciência e pela dedicação durante os momentos mais decisivos da realização deste trabalho; foi, nos últimos dois anos de convívio, mais do que um orientador: um verdadeiro mestre.

Ao professor Víctor Hugo V. Alvarez, sempre solícito; além disso, é exemplo de pesquisador para todos ligados à ciência do solo.

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pelo cuidado e pela atenção que teve para comigo, não só em relação à dissertação, mas para que eu possa ser realmente um profissional competente.

Aos professores Raphael B.A. Fernandes, Júlio C.L. Neves e Gaspar H. Korndörfer, pelo apoio irrestrito e pelas valiosas sugestões, que contribuíram para enriquecer este trabalho.

Ao Donagemma, companheiro em todos os momentos, pela amizade e pela ajuda preciosa ao longo de todas as fases deste trabalho, bem como os colegas Igor, Helga e Luíz Zanão, que foram como uma equipe para mim, sempre me apoiando nos momentos mais importantes.

Ao Geilson e Geíza, pelo amor, pelo estímulo e companheirismo, pelo apoio à minha vida e pela perseverança, que foram essenciais para meu êxito.

Ao Dimas e Aurélia, meus amigos, pela amizade e pelo apoio durante minha permanência em Viçosa, desde a graduação.

Aos amigos Elder Lopes, Paulo César, Renan Sallazar, Zé Carlos e Carlos Roberto, cujas amizades contribuíram sobremaneira para minha formação profissional.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, pela ajuda com os equipamentos, os reagentes e as instalações, em especial ao Cláudio e ao Bené, do Laboratório de Física do Solo, pela amizade.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

GETÚLIO COUTINHO FIGUEIREDO, filho de Getúlio Marques Figueiredo e Iza Coutinho Figueiredo, nasceu em 4 de outubro de 1978, na cidade de Vitória, Espírito Santo.

Em 2000, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em 2004.

Em agosto de 2004, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em 6 de julho de 2006.

CONTEÚDO

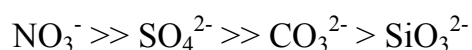
	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O calcário como corretivo do solo	3
2.2. Alternativas ao calcário para correção da deficiência de Ca e da acidez do solo	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1. Análise do lixiviado	14
4.2. Perfil de distribuição das características químicas nas colunas de solo	28
5. CONCLUSÕES	50
LITERATURA CITADA	51
APÊNDICE.....	56

RESUMO

FIGUEIREDO, Getúlio Coutinho, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2006. **Movimentação de cálcio de diferentes fontes adicionadas em colunas de dois Latossolos.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Co-Orientadores: Víctor Hugo Alvarez V. e Paulo Afonso Ferreira.

Com a finalidade de avaliar a mobilidade vertical do Ca em resposta à incorporação como NO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} e CO_3^{2-} em dois Latossolos, de textura contrastante, após aplicação de lâminas de lixiviação, realizou-se um ensaio em laboratório, utilizando colunas de solos. Os tratamentos corresponderam a um fatorial 2 (1 + 7), sendo dois Latossolos de Minas Gerais (Latossolo Amarelo e Latossolo Vermelho), uma testemunha (aplicação de água deionizada) e sete fontes estequiometricamente iguais em Ca: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_3 , CaCO_3 , $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$, $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$ e $\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$. Cada unidade experimental foi constituída de uma coluna de solo de $2,4 \text{ dm}^3$, acondicionada em um recipiente composto pela justaposição de dez anéis de PVC de 7 cm de altura. A fonte de Ca, como partículas de granulometria muito fina, foi uniformemente incorporada no solo contido

nos três anéis superiores. As doses de Ca foram equivalentes a 3,9 e 7,0 t/ha de CaCO₃ para o Latossolo Amarelo e o Latossolo Vermelho, respectivamente. Aplicou-se logo água deionizada, em volume suficiente para atingir a máxima retenção em equilíbrio com a força gravitacional, permanecendo as colunas de solo incubadas por 7 d. Posteriormente, aplicaram-se cinco lâminas de água deionizada de 50 mm cada uma, com intervalos de 6 d entre elas, recolhendo-se os lixiviados. Analisaram-se os lixiviados e o solo contido em cada anel. Os resultados permitem concluir que a movimentação do Ca no perfil de solo seguiu esta ordem, em resposta ao ânion acompanhante:



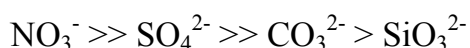
A magnitude da mobilidade do Ca dependeu da composição textural do solo, sendo maior no Latossolo Amarelo (textura média), comparativamente ao Latossolo Vermelho (muito argiloso). Essa mobilidade diferenciada também foi associada à maior solubilidade em água do Ca(NO₃)₂.4H₂O, seguida do CaSO₄.2H₂O, e à formação do par iônico CaHCO₃⁺. Em acréscimo, o CaCO₃ e o CaSiO₃, em ordem decrescente, corrigiram a acidez do solo na camada de aplicação. Após aplicação dos 250 mm de água deionizada, o CaCO₃ evidenciou movimentação nas colunas, apresentando resposta como corretivo da acidez do solo até 7 cm além da camada de aplicação. O CaSO₄.2H₂O diminuiu pouco o pH do solo e provocou o deslocamento do alumínio em solução, como comprovado pela presença deste cátion no lixiviado. Das misturas pesquisadas, a integrada por CaCO₃ e CaSO₄.2H₂O foi a mais apropriada para corrigir os efeitos prejudiciais da acidez do solo em profundidade.

ABSTRACT

FIGUEIREDO, Getúlio Coutinho, M.S., Universidade Federal de Viçosa, Julho of 2006. **Calcium movement of different sources added to two Latosols columns.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Co-Advisers: Víctor Hugo Alvarez V. and Paulo Afonso Ferreira.

With the objective of evaluating the vertical mobility of Ca in response to the incorporation as NO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , and CO_3^{2-} in two Latosols of contrasting texture, after application of irrigation depths, a laboratory trial was conducted using soil columns. The treatments corresponded to a 2 (1 + 7) factorial design involving two Latosols of Minas Gerais (Yellow Latosol and Red Latosol), one control (application of deionized water) and seven stoichiometrically equal Ca sources: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_3 , CaCO_3 , $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$, $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$, and $\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$. Each experimental unit was represented by a soil column of 2.4 dm^3 , placed in a recipient that consisted of ten assembled 7 cm high PVC rings. The Ca source, as very fine particles, was uniformly incorporated into the soil contained in the three superior rings. The Ca doses were equivalent to 3.9 and 7.0 t/ha of CaCO_3 for the Yellow Latosol and Red Latosol,

respectively. Enough deionized water was then applied to attain the maximal water-holding capacity in equilibrium with the force of gravity, and the soil columns incubated for 7 d. Thereafter, five depths of deionized water of 50 mm each were applied every 6 d and the leachate collected. The leachates and the soil contained in each ring were analyzed. Results allowed the ranking of the Ca movement in the soil profile in response to the anion as follows:



The magnitude of Ca mobility depended on the soil texture composition and was greater in the Yellow Latosol (medium texture) than the Red Latosol (very clayey). The differentiated mobility was further associated to the higher water solubility of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, followed by $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and to the formation of the ionic pair CaHCO_3^+ . Moreover, CaCO_3 and CaSiO_3 , in decreasing order, corrected the soil acidity in the application layer. After the application of the 250 mm of deionized water, CaCO_3 movement was observed in the columns, presenting a response of correction of the soil acidity down to 7 cm beneath the application layer. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ reduced the soil pH little and provoked the displacement of aluminum in solution, as indicated by the presence of this cation in the leachate. Of the analyzed mixtures, the one composed of CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ was the most appropriate to correct the harmful effects of soil acidity in depth.

1. INTRODUÇÃO

Os solos desenvolvidos sob vegetação de cerrado apresentam, em geral, topografia e características físicas atrativas para a exploração agrícola. No entanto, há limitações para seu uso. O elevado grau de intemperismo provocou acentuada acidificação e elevada saturação com alumínio. Em acréscimo, esses solos geralmente são deficientes em Ca e, ou, Mg, podendo apresentar teores tóxicos de Mn disponível. No controle da acidez, a calagem mostra-se uma técnica apropriada, com elevada relação benefício/custo. O calcário aplicado reduz a acidez do solo, diminui os teores de Al e Mn e aumenta a disponibilidade de Ca e Mg e a atividade da microbiota do solo. Esses efeitos combinados resultam em benefícios na nutrição das plantas, que levam, conseqüentemente, à maior produtividade.

Entretanto, a correção da acidez do solo com o uso de calcário fica limitada à camada de incorporação (aproximadamente até 20 cm). Em princípio, o crescimento adequado do vegetal poderia ser sustentado pelas raízes restritas a essa camada. No entanto, o crescimento fica comprometido pela eventual ocorrência de veranicos, que afetam a absorção de água pelo vegetal devido ao baixo volume de solo explorado pelo sistema radicular.

Várias alternativas têm sido sugeridas para atenuar as limitações químicas para o cultivo em solos ácidos. O manejo adequado do solo tem proporcionado resultados promissores, destacando-se a aplicação de doses elevadas de calcário (superiores às recomendadas pelos métodos de determinação da necessidade de calagem), a incorporação do calcário em camadas subsuperficiais profundas e o uso de sais de cálcio de maior solubilidade. A aplicação de doses elevadas de calcário possibilitaria a mobilidade do Ca após três a quatro anos de sua aplicação; contudo, ocasionaria eventuais problemas de desequilíbrios nutricionais. Já a aplicação do calcário em camadas subsuperficiais profundas pode resultar em respostas mais imediatas, porém tal prática exige equipamentos específicos para sua execução.

A utilização de sais de Ca como o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 e $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ tem se mostrado eficiente na mobilização do cátion até a subsuperfície, permitindo maior crescimento do sistema radicular. O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem despertado maior interesse entre os sais utilizados, pois provoca mobilidade intermediária do Ca no perfil, evitando perdas excessivas por lixiviação. Como alternativa ao uso de calcário e gesso no solo, foram testadas outras fontes de Ca, como a wollastonita (CaSiO_3).

As características indicadas levam a postular, como hipóteses de trabalho, que a movimentação do Ca no perfil de solo responde à solubilidade do sal aplicado, sendo $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{CaSO}_4 > \text{CaSiO}_3 > \text{CaCO}_3$, e que essa mobilidade depende da composição textural do solo, decrescendo das texturas mais arenosas para as mais argilosas.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a mobilidade vertical do Ca em resposta à incorporação como NO_3^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} e CO_3^{2-} em dois Latossolos com baixa saturação por bases, de textura contrastante, após aplicação de lâminas de água, bem como a resposta à incorporação superficial desses sais na correção dos efeitos prejudiciais da acidez do solo em profundidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O calcário como corretivo do solo

A resposta à calagem, verificada pela elevação do pH, dos teores de Ca e Mg e pela troca e precipitação do Al, normalmente limita-se à camada de aplicação do corretivo ou àquela imediatamente subjacente (Pottker & Ben, 1998). Dessa forma, a mobilidade vertical do Ca adicionado ao solo, via calcário, depende da presença de outros ânions na solução do solo, com destaque para NO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} (Pearson et al., 1962; Gonzalez-Erico et al., 1979; Messick et al., 1984). A incorporação de sais de Ca que incluem esses ânions, geralmente pouco retidos no solo, permite expressiva movimentação do cátion às camadas subsuperficiais.

Um meio de provocar a movimentação de Ca a maiores profundidades consiste na utilização de doses de calcário maiores que as estimadas pelos métodos de determinação da necessidade de calagem. Gonzalez-Erico et al. (1979), após a aplicação superficial de 0, 1, 2, 4 e 8 t/ha de calcário em um Latossolo argiloso do Cerrado brasileiro, observaram mobilidade do Ca até 30 cm nas maiores doses do corretivo. Messick et al. (1984) também verificaram movimentação de Ca no perfil de sete Ultissolos, de textura contrastante, após quatro anos da

incorporação de doses elevadas de calcário na camada de 0–20 cm. Esses autores observaram decréscimo na mobilidade de Ca nos solos mais argilosos. A baixa mobilidade do Ca, aplicado como calcário em doses elevadas, somente permitiria observar resposta em subsuperfície a médio e longo prazo. Essa técnica pode promover, na camada de incorporação, sérios desequilíbrios de bases trocáveis (Ca, Mg e K). Também, a elevação do pH pode ocasionar deficiência de micronutrientes, como Mn, Fe, Zn e Cu, além de deficiência de P (Lopes, 1983).

Sempre utilizando o calcário como fonte de Ca, outra forma de incrementar sua efetividade é a incorporação em camadas mais profundas. Gonzalez-Erico et al. (1979) aplicaram o corretivo a duas profundidades (0–15 e 0–30 cm) em um Latossolo argiloso. Utilizando milho como planta-teste, a maior profundidade de aplicação permitiu melhorar a resistência à seca, aumentando a produtividade. Os autores constataram que as maiores produtividades corresponderam ao aprofundamento do corretivo, com apreciável crescimento de raízes na camada de 15–30 cm, quando comparados os dois tratamentos, em decorrência do incremento dos teores de Ca e Mg e da eliminação do Al trocável. Prado & Natale (2004) observaram efeito semelhante na incorporação profunda do calcário em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, também para a cultura do milho.

Entretanto, nem todos os trabalhos chegaram a resultados semelhantes. Abruña et al. (1964) estudaram a aplicação de calcário em superfície ou incorporado em maiores profundidades em um Oxisol caulínico, com alto teor de óxidos de ferro e alumínio, em Porto Rico. Eles verificaram que não houve diferenças significativas entre as aplicações na superfície de doses de 0; 1,6; 3,2 (em dose única ou fracionada em duas vezes) e 6,5 t/ha, quando comparadas às incorporadas a 0–18 cm, para produção de *Pennisetum purpureum*.

Resposta positiva à aplicação profunda de calcário foi obtida pela Embrapa (1982) apenas durante os quatro anos subseqüentes à instalação

do ensaio. Decorrido esse período, não se observaram diferenças entre a aplicação superficial e a profunda, fato atribuído à mobilidade do Ca para camadas subsuperficiais.

A justificativa para essas respostas diferenciadas foi centralizada na disponibilidade de água no solo. As diferenças entre as profundidades de incorporação foram mais evidentes em anos menos chuvosos (Gonzalez-Erico et al., 1979). Assim, em épocas de menor disponibilidade de água no solo, fica marcante a importância do efeito das limitações químicas nas camadas subsuperficiais dos solos ácidos.

Em princípio, a incorporação a maiores profundidades é benéfica, pois permite a exploração de maior volume de solo pelas raízes das plantas e, conseqüentemente, melhor aproveitamento na absorção de água e nutrientes. No entanto, essa prática é considerada problemática devido à falta de maquinaria adequada (Pearson et al., 1962) e ao alto custo e consumo de energia (Ritchey et al., 1980; Pavan et al., 1984).

2.2. Alternativas ao calcário para correção da deficiência de Ca e da acidez do solo

A correção da deficiência de Ca no solo em profundidade é importante para o estabelecimento das culturas. No entanto, em plantios que não envolvem o preparo convencional do solo, como nos sistemas de plantio direto, o incremento do Ca na zona de crescimento das raízes e a redução da saturação por alumínio não ocorrem de forma adequada com a utilização de calcário (Zambrosi, 2004).

Com o objetivo de localizar o Ca em camadas mais profundas no perfil do solo, alguns corretivos alternativos ao calcário têm sido propostos, geralmente sais de maior solubilidade. Nesses casos, a movimentação do Ca é mais rápida, bastando apenas uma ou duas estações chuvosas para transportar quantidades consideráveis do cátion no perfil do solo (Ritchey et al., 1982). Na comparação do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) com o

calcário, em dois solos de textura contrastante (franco-arenosa e franco-siltosa), Ririe et al. (1952) observaram que houve maior mobilidade do Ca nos tratamentos empregando gesso, em ambos os solos.

Ritchey et al. (1980) realizaram ensaio com colunas preenchidas com amostras de um Latossolo Vermelho do Brasil Central, tratadas com dose de 2 t/ha de Ca, aplicado na camada de 0 a 15 cm. As fontes foram CaCl_2 , CaSO_4 e CaCO_3 , seguindo-se um período de lixiviação com aplicação de água equivalente a 1.200 mm de chuva. Esses autores verificaram que o Ca movimentou-se 180, 75 e 25 cm, respectivamente, e atribuíram a mobilidade diferencial do Ca às características de solubilidade dos sais e à energia de adsorção dos ânions acompanhantes no solo. Assim, por ser o CaCl_2 mais solúvel que o CaSO_4 e o íon Cl^- adsorvido com menor energia do que o SO_4^{2-} , esperar-se-ia maior concentração de cloreto em solução e, conseqüentemente, maior facilidade de lixiviação (Dal Bó, 1985).

A mobilidade do CaSO_4 no solo se deve, principalmente, à formação do par iônico CaSO_4° (Dias, 1992). A dissolução do gesso produz íons Ca^{2+} , SO_4^{2-} e formas não-iônicas CaSO_4° . Esses íons participam das reações de troca catiônica e aniônica, respectivamente. Do total do gesso solubilizado, aproximadamente 40 % encontra-se na forma não-dissociada, solúvel e neutra (Vitti & Malavolta, 1985), sendo potencialmente móvel no solo (Pavan et al., 1982). À medida que a forma CaSO_4° migra da camada incorporada, pode ocorrer a dissociação para as formas Ca^{2+} e SO_4^{2-} (Vitti & Malavolta, 1985).

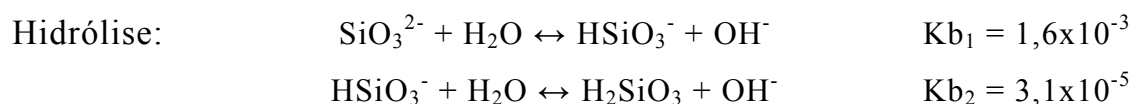
Ao contrário do calcário, o gesso não altera substancialmente o pH e as cargas elétricas do solo (Pavan et al., 1984), por depender do balanço entre os íons H^+ produzidos pela hidrólise do Al^{3+} e os íons OH^- substituídos pelo SO_4^{2-} pela dissolução do CaSO_4 (Vitti & Malavolta, 1985). Assim, é favorecida a permanência de parte do Ca aplicado em solução, enquanto o Ca restante fica retido nas cargas negativas, deslocando outros cátions para a solução (Ernani & Barber, 1993; Ernani et al., 2001).

Dessa forma, a utilização de gesso mantém elevada concentração do íon sulfato na solução do solo, resultando em maior mobilidade do Ca aplicado via gesso em relação ao calcário (Ernani, 1986). Isso permite propiciar maior crescimento de raízes em profundidade, além do registrado na camada de incorporação do corretivo (Pavan et al., 1987; Noble et al., 1988). Provavelmente, o crescimento dessas raízes ocorre devido à disponibilidade do Ca e à diminuição da toxicidade do Al pela formação do par iônico $AlSO_4^+$, forma não absorvida pelas plantas (Pavan et al., 1982). Como o gesso favorece a mobilidade do Ca, têm sido verificadas eventuais perdas de Mg e K da camada de incorporação (Ririe et al., 1952; Pearson et al., 1962; Ritchey et al., 1980; Maria et al., 1993; Wadt & Wadt, 1999), o que pode provocar desequilíbrio indesejável de bases, afetando o crescimento das plantas (Quaggio et al., 1982; Rosolém & Machado, 1984; Dal Bó, 1985).

Estudando a movimentação de bases e o crescimento da cana-de-açúcar em resposta a diferentes fontes e doses de Ca em colunas de solo, Dal Bó (1985) observou que as respostas mais desfavoráveis na produção de matéria seca foram obtidas nos tratamentos com gesso, fato atribuído às excessivas perdas de Mg. Para reduzir tais perdas, recomenda-se a mistura do gesso com calcário dolomítico. Assim, eleva-se o teor de cálcio, além de se fornecer Mg ao solo (Embrapa, 1982). Essa incorporação, associada ao aumento da CTC efetiva pela elevação do pH, proporcionaria maior retenção de Mg e K no complexo sortivo do solo.

Entre outras alternativas, a escória de siderurgia tem sido utilizada na correção de solos ácidos. Essa escória é um subproduto da indústria do aço e ferro-gusa, constituída quimicamente de $CaSiO_3$ (Amaral et al., 1994), com propriedades corretivas semelhantes às do calcário, verificadas pela redução da acidez potencial e a elevação do pH e da saturação por bases no solo. Esse corretivo apresentou liberação mais lenta de nutrientes que o calcário (Prado et al., 2003).

A correção de solos ácidos pela utilização de escória resulta do equilíbrio químico dos silicatos. Quando hidrolisados, os silicatos de metais alcalino-terrosos possuem reação alcalina, elevando o pH (Vogel, 1981). A ação corretiva dos silicatos ocorre conforme as reações (Alcarde, 1992):



Comparativamente ao calcário, o maior efeito residual promovido pelos silicatos no solo, com o uso da escória, possivelmente ocorre devido ao equilíbrio químico representado. A solubilização da escória provoca incremento inicial do pH e da concentração de bases em solução. Esse aumento levaria a decréscimos posteriores na dissolução da escória, visto que a solubilidade desse material em solução aquosa diminui com a elevação do pH e da concentração de Ca e Mg na solução (Kato & Owa, 1996).

Na literatura, são escassos os estudos com fontes de corretivos alternativos ao calcário que relacionem seus efeitos na mobilidade do Ca no solo. No caso dos silicatos de cálcio, há estudos incipientes em solos tropicais sobre os resultados da aplicação de wollastonita (CaSiO_3). A solubilidade deste composto em água é de 0,095 g/L, intermediária entre a do CaCO_3 e a do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 0,015 e 2,41 g/L, respectivamente, havendo compostos de solubilidade apreciavelmente maior, como o $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ou o CaCl_2 (Weast, 1971).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar a movimentação de Ca em colunas de solo, foi realizado um ensaio de laboratório, utilizando sete fontes do cátion e amostras de um Latossolo Amarelo (LA), de João Pinheiro, MG, e de um Latossolo Vermelho (LV), de Sete Lagoas, MG. Essas amostras foram retiradas na camada de 20–40 cm, secas ao ar e passadas em peneira com abertura de 2 mm, para caracterização física e química (Quadro 1), e de 4 mm, para o ensaio em colunas.

Os tratamentos, dispostos num delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições, foram arranjados em um fatorial 2 (1 + 7), correspondendo aos dois solos indicados, uma testemunha e sete fontes de Ca. O cátion foi adicionado em doses estequiométricas, utilizando-se como fontes $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaSiO_3 , CaCO_3 , $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$, $\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$ e $\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$ (Quadro 2). A dose foi calculada de modo que a fornecesse 100 % da necessidade de calagem para cada solo, determinada com base na acidez trocável, nos teores de argila e de Ca e Mg trocáveis, para a cultura cafeeira (Alvarez V. & Ribeiro, 1999). Foram utilizados reagentes p.a., à exceção do metassilicato de cálcio, aplicado como wollastonita.

Quadro 1. Caracterização física, química e mineralógica dos solos

Característica	LA	LV
Análise granulométrica (kg/kg) ^{1/}		
-areia grossa ^{2/}	0,440	0,090
-areia fina ^{2/}	0,380	0,030
-silte ^{3/}	0,030	0,110
-argila ^{3/}	0,150	0,770
Densidade (kg/dm ³)		
-do solo ^{4/}	1,24	0,88
-de partículas ^{5/}	2,58	2,61
Porosidade total (m ³ /m ³) ^{6/}	0,518	0,662
Equivalente umidade (kg/kg) ^{6/}	0,130	0,359
pH em água (1:2,5) ^{7/}	5,18	4,63
pH em KCl 1 mol/L (1:2,5) ^{7/}	4,19	4,24
CTC efetiva (cmol _c /dm ³) ^{7/}	0,64	1,57
CTC a pH 7,0 (cmol _c /dm ³) ^{7/}	1,53	8,23
(H + Al) (cmol _c /dm ³) ^{8/}	1,47	8,07
K (mg/dm ³) ^{9/}	9,00	12,00
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{10/}	nd ^{11/}	0,08
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³) ^{10/}	0,04	0,06
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³) ^{10/}	0,58	1,42
S (mg/dm ³) ^{12/}	6,64	5,06
Matéria orgânica (dag/kg) ^{13/}	0,57	3,29
Fósforo remanescente (mg/L) ^{14/}	30,20	6,07
Mineralogia da fração argila ^{15/}	Ka	Ka
	Gb	Gb
	Gt	Gt
		Hm

^{1/} Dispersão mecânica por agitação lenta (Ruiz, 2005a). ^{2/} Por peneiramento (Ruiz, 2005b). ^{3/} Método da pipeta (Ruiz, 2005b). ^{4/} Método da proveta (Ruiz, 2004). ^{5/} Método do balão volumétrico (Ruiz, 2004). ^{6/} Ruiz (2004). ^{7/} Vettori (1969). ^{8/} Extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L (pH 7,0) (Vettori, 1969). ^{9/} Extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1997). ^{10/} Extrator KCl 1 mol/L (Vettori, 1969). ^{11/} Não detectado. ^{12/} Extrator Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L (Alvarez V. et al., 2001). ^{13/} Método de Walkley-Black modificado (Defelipo & Ribeiro, 1997). ^{14/} Alvarez V. et al. (2000). ^{15/} Ka: caulinita, Gb: gibbsita, Gt: goethita, Hm: hematita. Referências: LA (Perfil VII RCC-11 MG) (Ker et al., 2005), LV (Sans, 1986).

Quadro 2. Doses de reagentes aplicados nas colunas de solo correspondentes a 3,9 e 7,0 t/ha de CaCO₃ no LA e no LV, respectivamente

Solo	Fonte	Ca(NO ₃) ₂ .4 H ₂ O	CaSO ₄ .2 H ₂ O	CaSiO ₃	CaCO ₃
		-----g/dm ³ -----			
LA	Ca(NO ₃) ₂	4,5667	0	0	0
	CaSO ₄	0	3,3887	0	0
	CaSiO ₃	0	0	2,5682	0
	CaCO ₃	0	0	0	1,9702
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	0	1,6943	1,2841	0
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	0	1,6943	0	0,9851
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	0	0	1,2841	0,9851
LV	Ca(NO ₃) ₂	8,2415	0	0	0
	CaSO ₄	0	6,1156	0	0
	CaSiO ₃	0	0	4,6350	0
	CaCO ₃	0	0	0	3,5556
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	0	3,0578	2,3175	0
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	0	3,0578	0	1,7778
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	0	0	2,3175	1,7778

Cada unidade experimental foi constituída de uma coluna de solo, acondicionada em um recipiente composto pela justaposição de dez anéis de PVC de 7 cm de altura e um de 8 cm na parte inferior, com 6,6 cm de diâmetro interno. No anel de 8 cm foi adaptado um *cap* de PVC perfurado com um funil acoplado. Internamente, no primeiro centímetro desse anel, junto ao *cap*, foi colocada uma camada fina de lã de vidro e, sobre esta, aproximadamente 1 cm de areia muito grossa (1–2 mm), para facilitar a drenagem; em seguida, foi colocada outra fina camada de lã de vidro, a fim de evitar a mistura do solo com a areia. Os anéis foram unidos e vedados com cola de silicone em suas extremidades. Externamente, foram fixados com fita adesiva para formar um tubo de 78 cm.

O tubo de PVC recebeu o solo peneirado por malha de 4 mm até 7 cm da borda superior, formando uma coluna de 70 cm de altura e volume de 2,4 dm³. O preenchimento foi completado em duas etapas, por pesagem do solo necessário para ocupar o volume dos sete anéis inferiores e dos três superiores, respectivamente. No solo correspondente aos três anéis superiores,

distribuíram-se uniformemente as fontes de Ca na forma de partículas de granulometria muito fina. O solo foi despejado constantemente através de um funil, em movimentos circulares, para reduzir ao máximo a segregação dos agregados. Em seguida, o solo foi acomodado, deixando cair o tubo, na vertical, de uma altura de aproximadamente 1 cm, por três vezes. Posteriormente, a superfície do solo foi coberta com uma fina camada de lã de vidro, a fim de evitar distúrbios na secção de infiltração.

Com a finalidade de homogeneizar a umidade das colunas de solo, foram aplicadas, após testes prévios, lâminas de água deionizada suficientes para atingir a capacidade máxima de retenção de água em equilíbrio com a força gravitacional, tomando-se como referência a saída da primeira gota de lixiviado das colunas. Em seguida, cobriu-se a extremidade superior dos recipientes, para evitar perdas de água por evaporação, permanecendo nessas condições por 7 d antes do início do ensaio. Após esse período, cinco lâminas de água deionizada de 50 mm (171 mL), cada uma, foram aplicadas com intervalos de 6 d, mantendo-se volume de água no anel superior, em cada recipiente, de aproximadamente 1 cm de altura durante a aplicação. A seguir, cobriu-se novamente a extremidade superior das unidades experimentais.

Os lixiviados foram coletados individualmente até 24 h após cada aplicação de lâmina, sendo, imediatamente, determinados o volume, o pH e a condutividade elétrica. Em seguida, foram armazenados sob refrigeração. Posteriormente, foram determinadas as concentrações de Ca, Mg, K, Al e S, dosados por espectrometria de emissão atômica em plasma induzido - ICP-ES. Utilizando os volumes de lixiviado e as concentrações, foram calculadas as quantidades dos elementos nos efluentes.

Após 6 d da aplicação da última lâmina, as colunas foram desmontadas, retirando-se, de cada anel, o solo contido nos 5 cm centrais. Após secagem ao ar, as amostras foram moídas e integralmente peneiradas por malha de 2 mm. Subamostras foram utilizadas para determinar o pH em água (1:2,5) (Vettori, 1969) e, após filtração, a condutividade elétrica do mesmo extrato,

segundo modificações do método descrito por Richards (1954), quanto à relação solo:água. Em outras subamostras, determinaram-se os teores de Al, Ca e Mg trocáveis e K, Si e S disponíveis. Os três primeiros foram extraídos com solução de KCl 1 mol/L e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca e Mg) e por espectrometria de emissão atômica em plasma induzido - ICP-ES (Al). O K foi dosado por fotometria de emissão de chama, após extração com Mehlich-1. A extração do Si solúvel foi feita com CaCl_2 0,01 mol/L, e a determinação, por colorimetria (Korndörfer et al., 2004). A extração do S foi realizada com $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, 500 mg/L de P, em ácido acético 2 mol/L, e a determinação, por turbidimetria (Alvarez V. et al., 2001).

As características determinadas nos lixiviados foram analisadas estatisticamente, verificando-se, na análise de variância, a homogeneidade das variâncias para os dois solos em estudo. Os graus de liberdade para fontes foram desdobrados em contrastes ortogonais (Quadro 3), apresentando-se os valores médios desses contrastes (Alvarez V. & Alvarez, 2006). O perfil de distribuição das características químicas nas colunas foi representado graficamente.

Quadro 3. Contrastes ortogonais analisados para cada solo

Tratamento	Contrastes ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Testemunha	-7	0	0	0	0	0	0
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	-6	0	0	0	0	0
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1	1	-1	-2	0	0	0
CaSiO_3	1	1	-1	1	-1	0	0
CaCO_3	1	1	-1	1	1	0	0
$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	1	1	1	0	0	-2	0
$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	1	1	1	0	0	1	-1
$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	1	1	1	0	0	1	1

^{1/} C1: testemunha vs. fontes de Ca. C2: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ vs. outras fontes de Ca. C3: ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSiO}_3 + \text{CaCO}_3$) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$) + ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$) + ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$). C4: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ vs. ($\text{CaSiO}_3 + \text{CaCO}_3$). C5: CaSiO_3 vs. CaCO_3 . C6: ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$) + ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$). C7: ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise do lixiviado

Nas condições em que foi conduzido o ensaio, com cinco aplicações de lâminas de água deionizada de 50 mm (855 mL), cada unidade experimental recebeu volume de água de 171 mL por lixiviação. Em relação ao volume total aplicado, os lixiviados foram, em média, 12,6 % inferiores para o LA e 6,8 % para o LV (Quadro 4). Essa diferença deve ser atribuída ao período de 24 h estabelecido para recolher o lixiviado, tempo em que o equilíbrio não foi totalmente atingido, e às perdas por evaporação nos intervalos entre lixiviações. Em acréscimo, comparando o coeficiente de variação das sucessivas lixiviações, verifica-se que a homogeneização do conteúdo inicial de água nas colunas não foi plenamente atingida (Quadro 4). O coeficiente de variação foi superior nos volumes de solução percolada na primeira lixiviação, quando comparado ao das lixiviações subseqüentes. Também, esses valores foram superiores no solo mais arenoso (LA), com menor conteúdo de água no equilíbrio, que no LV, muito argiloso.

As quantidades de Ca no efluente, após cada lixiviação, e a quantidade total de Ca lixiviado, após aplicação das cinco lâminas de água

deionizada, são apresentadas no Quadro 5. Verificaram-se diferenças na comparação entre os dois solos quando apresentaram variâncias homogêneas. Essas diferenças dependem mais das doses e fontes de Ca utilizadas e da textura do solo que do teor inicial de Ca trocável nas amostras dos solos estudados, que era bastante próximo (Quadro 1). A dose de Ca incorporada nas colunas (Quadro 2) foi diferente para cada solo e correspondeu às doses de 3,9 e a 7,0 t/ha de CaCO_3 para o LA e o LV, respectivamente (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

Na lixiviação inicial, a elevada solubilidade do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, associada à menor retenção do cátion no solo mais arenoso, levou a maiores perdas de Ca no LA, quando comparado ao LV (Quadro 5). Essa perda pouco diferiu na lixiviação subsequente, pois o declínio mais acentuado na perda de Ca originado do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ no LA foi compensado pelo início de lixiviação do Ca associado ao $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. A movimentação e consequente lixiviação do sulfato no LA provocaram maior acúmulo do Ca no efluente deste solo em relação ao LV (Quadro 5).

Quadro 4. Volume de efluentes das colunas de lixiviação dos dois Latossolos

Solo	Medida ^{1/}	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
LA	Média (mL)	134	149	155	154	155	747
	Desvio-padrão (mL)	10	9	7	8	8	35
	Valor maior (mL)	154	160	164	170	165	787
	Valor menor (mL)	110	126	138	140	140	656
	CV (%)	7,48	5,71	4,45	4,94	4,82	4,62
LV	Média (mL)	145	158	164	164	166	797
	Desvio-padrão (mL)	9	3	4	4	3	14
	Valor maior (mL)	162	163	169	170	171	820
	Valor menor (mL)	121	150	157	158	160	767
	CV (%)	5,86	1,92	2,28	2,09	1,75	1,75

^{1/} Determinadas com 24 valores resultantes de oito fontes e três repetições.

Quadro 5. Quantidade de cálcio no efluente, considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
		————— $\mu\text{mol}_c/\text{coluna}$ —————					
LA	Testemunha	177	137	53	22	29	418
	Ca(NO ₃) ₂	5.860	3.089	1.076	308	68	10.401
	CaSO ₄	199	331	1.390	3.912	3.669	9.502
	CaSiO ₃	175	132	59	32	29	427
	CaCO ₃	189	142	54	33	30	448
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	186	230	808	1.004	915	3.142
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	205	293	1.160	1.421	1.018	4.096
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	178	130	49	35	37	429
	Média Geral ^{1/}	896 A	560 A	581	846 A	724 A	3.608 A
LV	Testemunha	46	40	30	36	40	192
	Ca(NO ₃) ₂	5.097	4.711	4.676	2.954	1.007	18.445
	CaSO ₄	24	32	25	40	44	165
	CaSiO ₃	26	23	19	25	25	117
	CaCO ₃	23	30	16	23	32	125
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	37	43	31	34	29	174
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	30	31	31	61	58	211
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	18	31	28	33	38	149
	Média Geral ^{1/}	663 B	618 A	607	401 B	159 B	2.447 B

^{1/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

Analisando as fontes, duas delas foram determinantes na lixiviação do Ca: o nitrato e o sulfato (Quadro 6). A solubilidade dos dois sais é acentuadamente diferente: 2,660 e 2,41 g/L para o Ca(NO₃)₂.4H₂O e o CaSO₄.2H₂O, respectivamente (Weast, 1971). Esses valores, transformados em mol_c/L de Ca, correspondem a 22,7 e 0,028 para cada uma das fontes, respectivamente. Isso indica que o Ca(NO₃)₂.4H₂O apresenta solubilidade 810 vezes superior ao CaSO₄.2H₂O. Em acréscimo, a energia de adsorção do nitrato pelo solo é sensivelmente inferior àquela do sulfato. Assim, a migração do Ca é mais acentuada quando associado ao nitrato que ao

sulfato. Essas considerações são fundamentais na comparação do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ com as demais fontes de Ca no LA, nas diferentes lixiviações (contraste 2, Quadro 6). No LA, nas duas primeiras lixiviações, há maior perda de Ca ligado ao nitrato (Quadro 5); na terceira lixiviação, essas perdas se aproximam na comparação com as fontes que incluem o sulfato. Assim, a inversão do sinal do segundo contraste, nas duas últimas lixiviações, deve-se ao aporte do Ca ligado ao sulfato e à diminuição do Ca incorporado como nitrato nas colunas. Quando observada a quantidade total de Ca lixiviado das colunas com amostras do LA, verifica-se a semelhança no uso das fontes nitrato e sulfato. Nas misturas de fontes, as que incluíram o sulfato apresentaram quantidades intermediárias de Ca nos efluentes, e tanto as fontes únicas de metassilicato e de carbonato com a sua mistura não diferiram da testemunha. Os resultados para o carbonato concordam com aqueles obtidos por Maria et al. (1993), utilizando calcário agrícola aplicado em colunas de solo.

Quando analisado o LV, solo muito argiloso, verificou-se, após as cinco lixiviações, Ca no efluente apenas no tratamento com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. As outras fontes não acrescentaram nos efluentes quantidades de Ca superiores às da testemunha (Quadros 5 e 6).

Os efeitos da aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ também puderam ser verificados na determinação do pH dos efluentes. Nesses solos ácidos, nas lixiviações iniciais, o Ca adicionado deslocou parcialmente os íons H^+ e Al^{3+} do complexo sortivo, provocando sua lixiviação e levando a menores valores de pH (Quadros 7 e 8). Essa acidificação inicial foi acentuada devido à hidrólise do Al em solução (Quadros 9 e 10); a diminuição deste cátion nas lixiviações subsequentes (Contraste 2, Quadro 10) promoveu elevação do valor de pH dos efluentes (Quadros 7 e 8).

Quadro 6. Contrastes médios comparando a quantidade de cálcio no efluente, considerando a fonte de cálcio utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
----- μmol _c -----							
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	822**	-5.671**	2	-17	15	6	-27
Lixiviação 2	483**	-2.880**	16	-195	10	-18	-163
Lixiviação 3	604*	-490	171	-1.334**	-5	-203	-1.112**
Lixiviação 4	942**	765**	-506**	-3.880**	1	-276**	-1.385**
Lixiviação 5	795**	882**	-587**	-3.640**	1	-387*	-980**
Quantidade total	3.645**	-7.394**	-903**	-9.065**	21	-879*	-3.667**
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	705**	-5.071**	4	0	-3	-13	-13
Lixiviação 2	660**	-4.679**	7	-5	7	-12	1
Lixiviação 3	660**	-4.651**	10	-7	-3	-1	-3
Lixiviação 4	417**	-2.918**	13	-15	-2	13	-27
Lixiviação 5	136	-969**	8	-16	8	19	-20
Quantidade total	2.577**	-18.288**	42	-44	8	6	-62

^{1/} C1: testemunha vs. Fontes de Ca. C2: Ca(NO₃)₂.4H₂O vs. outras fontes de Ca. C3: (CaSO₄.2H₂O + CaSiO₃ + CaCO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C4: CaSO₄.2H₂O vs. (CaSiO₃ + CaCO₃). C5: CaSiO₃ vs. CaCO₃. C6: (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C7: (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) vs. (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃).
*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Pelos dados apresentados nos Quadros 7, 8, 9 e 10, a partir da terceira lixiviação, pode-se deduzir que o CaSO₄.2H₂O apresenta efeitos sobre os lixiviados produzidos semelhantes aos do Ca(NO₃)₂.4H₂O, porém minorados pela solubilidade apreciavelmente inferior e pela maior energia de adsorção do sulfato nos componentes da fase sólida do solo. Isso permitiria corroborar a utilização do gesso na correção da deficiência de Ca e de condições desfavoráveis associadas à acidez do solo, deslocando o Al trocável presente em teores potencialmente tóxicos ao normal crescimento das plantas.

Quadro 7. pH do efluente, considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Média Ponderada
		1	2	3	4	5	
LA	Testemunha	4,33	4,24	4,45	5,00	5,20	4,66
	Ca(NO ₃) ₂	3,69	3,81	4,02	4,38	4,61	4,10
	CaSO ₄	4,34	4,22	4,30	4,38	4,31	4,31
	CaSiO ₃	4,42	4,31	4,58	5,10	4,94	4,68
	CaCO ₃	4,33	4,31	4,54	5,16	5,04	4,69
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	4,36	4,33	4,42	4,49	4,41	4,40
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	4,33	4,39	4,39	4,45	4,40	4,40
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	4,40	4,31	4,56	5,27	4,99	4,72
	Média Geral ^{1/}	4,28 B	4,24	4,41	4,78 B	4,74 B	4,50 B
LV	Testemunha	5,20	5,76	5,82	5,76	5,52	5,62
	Ca(NO ₃) ₂	3,98	3,97	3,97	4,17	4,12	4,04
	CaSO ₄	6,36	6,45	6,17	6,16	5,52	6,12
	CaSiO ₃	5,77	6,22	6,29	6,43	6,02	6,16
	CaCO ₃	6,10	6,30	6,12	6,17	5,65	6,06
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	5,38	6,09	6,29	6,42	6,40	6,13
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	6,08	5,98	5,88	5,66	5,32	5,77
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	6,05	6,25	6,21	6,28	5,84	6,13
	Média Geral ^{1/}	5,61 A	5,88	5,84	5,88 A	5,55 A	5,75 A

^{1/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

Quadro 8. Contrastes médios comparando o pH do efluente, considerando a fonte de cálcio utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	-0,06	0,67**	0,00	0,03	-0,09	0,00	0,06
Lixiviação 2	0,00	0,50**	0,07	0,08	0,00	0,02	-0,08
Lixiviação 3	-0,05	0,44**	-0,01	0,26**	-0,04	0,06	0,17
Lixiviação 4	-0,26	0,43*	-0,15	0,76**	0,06	0,37	0,81**
Lixiviação 5	-0,53*	0,07	-0,16	0,68**	0,10	0,29	0,59*
Média ponderada	-0,20	0,46**	-0,14	0,47*	0,23	0,17	0,46*
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	0,47*	1,98**	-0,24	-0,43	0,33	0,69**	-0,03
Lixiviação 2	0,14	2,24**	-0,22	-0,19	0,08	0,03	0,28
Lixiviação 3	0,02	2,19**	-0,06	0,04	-0,17	-0,24	0,33
Lixiviação 4	0,14	2,02**	-0,13	0,13	-0,26	-0,45	0,62*
Lixiviação 5	0,04	1,67**	0,12	0,32	-0,37	-0,82**	0,52
Média ponderada	0,15	2,01**	-0,11	-0,01	-0,09	-0,18	0,36

^{1/} C1: testemunha vs. Fontes de Ca. C2: Ca(NO₃)₂.4H₂O vs. outras fontes de Ca. C3: (CaSO₄.2H₂O + CaSiO₃ + CaCO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C4: CaSO₄.2H₂O vs. (CaSiO₃ + CaCO₃). C5: CaSiO₃ vs. CaCO₃. C6: (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C7: (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) vs. (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃).

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

A resposta apontada para a lixiviação do Ca nas diferentes lixiviações, quando incorporado como CaSO₄.2H₂O (Quadro 5), é ratificada pelos valores determinados para o SO₄²⁻ nos lixiviados (Quadro 11). No LA, de textura franco-arenosa, observa-se que, quando aplicado o Ca como CaSO₄.2H₂O, os lixiviados desse solo apresentaram resultados coincidentes para o Ca e o SO₄²⁻. Na primeira lixiviação, quando o deslocamento da fonte não tinha atingido o final da coluna, os dois resultados foram coincidentes com os da testemunha. Com a seqüência das eluições, as quantidades de Ca e SO₄²⁻ no fluido deslocado são apreciavelmente próximas. Essa resposta não é tão acentuada na

aplicação de CaSO_4 junto à outra fonte. A menor concentração e a maior adsorção do sulfato pelos sólidos do solo levam a valores superiores de cálcio, quando comparados aos do SO_4^{2-} (Quadros 5 e 11). Os contrastes analisados mostram, obviamente, o incremento do sulfato no lixiviado, quando o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ é adicionado no LA (Quadro 12).

Quadro 9. Quantidade de alumínio no efluente, considerando o solo e a fonte de Ca utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
————— $\mu\text{mol}_c/\text{coluna}$ —————							
LA	Testemunha	33,1	20,1	11,5	7,2	7,7	79,6
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.549,9	581,8	166,0	34,6	9,8	2.342,0
	CaSO_4	38,1	33,3	67,0	141,2	105,6	385,2
	CaSiO_3	31,7	18,1	10,4	6,7	8,1	75,1
	CaCO_3	42,0	13,2	12,0	7,6	8,4	83,2
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	37,1	8,9	47,3	50,4	39,8	183,5
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	35,1	27,3	65,6	65,1	43,1	233,2
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	36,8	18,2	8,4	8,2	8,0	80,6
	Média Geral ^{1/}	225,5	90,1 A	48,3	40,1 B	28,8 B	432,8 A
LV	Testemunha	7,0	5,3	6,0	7,3	7,0	32,6
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	624,1	487,5	477,2	328,1	220,1	2.134,1
	CaSO_4	5,0	7,6	5,8	6,6	8,8	33,7
	CaSiO_3	4,2	6,5	5,1	6,6	7,8	30,2
	CaCO_3	4,0	5,1	5,6	6,4	8,4	29,5
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	5,7	5,1	5,4	7,0	8,1	31,2
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	7,7	5,7	6,7	8,5	10,2	38,8
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	7,7	4,9	5,5	6,2	8,2	32,5
	Média Geral ^{1/}	83,2	66,0 B	64,3	47,1 A	34,8 A	295,3 B

^{1/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

Quadro 10. Contrastes médios comparando a quantidade de alumínio no efluente, considerando a fonte de cálcio utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
----- μmol _c -----							
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	219,8**	-1.513,1**	-0,9	-1,2	10,3	-1,2	1,6
Lixiviação 2	80,0**	-561,9**	-3,4	-17,6	-4,9	13,9	-9,1
Lixiviação 3	42,0**	-131,2**	9,9	-55,8**	1,6	-11,3	-53,2*
Lixiviação 4	37,6**	12,0*	-10,6**	-1.34,1**	0,9	-13,8*	-56,9**
Lixiviação 5	24,1**	25,7**	-10,4**	-97,4**	0,3	-14,3*	-35,0**
Quantidade total	403,6**	-2.168,5**	-15,4	-306,1**	8,1	-26,7	-152,6**
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	87,1**	-618,4**	2,6	-0,9	-0,2	2,1	0,0
Lixiviação 2	69,3**	-481,7**	-1,1	-1,8	-1,4	0,2	-0,8
Lixiviação 3	66,6**	-468,5**	0,4	-0,4	0,5	0,7	-1,2
Lixiviação 4	45,5**	-321,2**	0,7	-0,1	-0,2	0,4	-2,3
Lixiviação 5	31,8**	-211,5**	0,5	-0,7	0,6	1,1	-2,1
Quantidade total	300,3**	-2.101,5**	3,1	-3,9	-0,7	4,5	-6,3

^{1/} C1: testemunha vs. Fontes de Ca. C2: Ca(NO₃)₂.4H₂O vs. outras fontes de Ca. C3: (CaSO₄.2H₂O + CaSiO₃ + CaCO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C4: CaSO₄.2H₂O vs. (CaSiO₃ + CaCO₃). C5: CaSiO₃ vs. CaCO₃. C6: (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C7: (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) vs. (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃).

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

As colunas preenchidas com amostras do LV evidenciam resposta diferenciada nas lixiviações de SO₄²⁻, quando confrontadas com os valores apresentados pelo solo mais arenoso. O LV, muito argiloso e com teores elevados de óxidos de Al e Fe (Quadro 1), apresenta interação marcante do SO₄²⁻ com os componentes da fase sólida. Assim, quando usado o CaSO₄.2H₂O, as quantidades de SO₄²⁻ lixiviadas são semelhantes às da testemunha (Quadro 11). Isso também foi observado para o Ca (Quadro 5). Neste solo, o enxofre foi mais lixiviado utilizando Ca(NO₃)₂.4H₂O como fonte que quando se aplicou CaSO₄.2H₂O (Quadro 11). Isso indica, claramente, que o sulfato lixiviado já estava

presente no solo e não foi produto do corretivo incorporado. A análise estatística confirma essa suposição (contraste 2, Quadro 12). A incorporação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, muito solúvel em água (Weast, 1971), deslocou ânions, levando, entre outros, a incrementar a quantidade de sulfato lixiviada.

Quadro 11. Quantidade de sulfato no efluente, considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
		----- $\mu\text{mol}_e/\text{coluna}$ -----					
LA	Testemunha	3,55	1,48	1,89	3,86	3,01	13,78
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	14,60	7,83	4,53	3,77	1,71	32,44
	CaSO_4	3,11	316,24	1.624,80	4.024,03	3.604,01	9.572,19
	CaSiO_3	2,97	1,18	1,79	3,99	2,50	12,43
	CaCO_3	3,38	1,04	1,69	2,32	3,93	12,36
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	3,25	0,33	1.170,48	1.411,49	1.253,93	3.839,48
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	4,08	253,82	1.623,05	1.884,07	1.341,19	5.106,20
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	2,83	1,71	4,12	3,24	2,92	14,82
	Média Geral ^{1/}	4,72 A	72,95	554,04	917,09	776,65	2.325,46
LV	Testemunha	3,63	1,65	2,92	2,81	2,23	13,24
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	11,25	11,18	11,02	7,97	5,84	47,26
	CaSO_4	3,51	1,01	1,65	1,43	1,54	9,14
	CaSiO_3	3,07	2,11	8,03	2,96	1,90	18,06
	CaCO_3	3,47	1,79	1,70	1,53	1,79	10,28
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	3,51	1,35	8,13	1,50	1,91	16,40
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	2,25	1,66	1,62	1,88	1,52	8,93
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	3,75	1,29	5,33	1,23	1,50	13,10
	Média Geral ^{1/}	4,31B	2,75	5,05	2,66	2,28	17,05

^{1/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

Quadro 12. Contrastes médios comparando a quantidade de sulfato no efluente, considerando a fonte de cálcio utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
-----µmolc-----							
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	1,34**	-11,33**	0,23	0,06	0,41	0,21	-1,25*
Lixiviação 2	81,69*	87,89*	-20,87	-315,13**	-0,14	127,43*	-252,11**
Lixiviação 3	631,03	733,13*	389,79	-1.623,06**	-0,10	-356,89	-1.618,93**
Lixiviação 4	1.043,70**	1.217,76**	-243,85**	-4.020,88**	-1,67	-467,83**	-1.880,82**
Lixiviação 5	884,16**	1.033,04**	-337,47**	-3.600,79**	1,43	-581,88**	-1.338,27**
Quantidade total	2.641,92**	3.060,48**	-212,16	-9.559,80**	-0,07	-1.278,97*	-5.091,38**
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	0,77*	-7,98**	-0,18	-0,24	0,40	-0,51	1,50**
Lixiviação 2	1,26	-9,64**	-0,20	0,94	-0,32	0,13	-0,37
Lixiviação 3	2,43	-6,61*	1,23	3,22	-6,33	-4,66	3,71
Lixiviação 4	-0,17	-6,21**	-0,44	0,81	-1,43	0,06	-0,65
Lixiviação 5	0,06	-4,15**	-0,10	0,31	-0,10	-0,40	-0,01
Quantidade total	4,36	-34,60**	0,32	5,04	-7,78	-5,38	4,17**

^{1/} C1: testemunha vs. Fontes de Ca. C2: Ca(NO₃)₂.4H₂O vs. outras fontes de Ca. C3: (CaSO₄.2H₂O + CaSiO₃ + CaCO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C4: CaSO₄.2H₂O vs. (CaSiO₃ + CaCO₃). C5: CaSiO₃ vs. CaCO₃. C6: (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C7: (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) vs. (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃).

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Também foram constatadas perdas de K, principalmente no LA (Quadro 13). Solos como o LV, muito argiloso, apresentam a característica de elevada capacidade-tampão para K e menor concentração do nutriente na solução do solo (Araújo et al., 2003). Essas perdas estão associadas à elevação da concentração de Ca na solução do solo, condição atingida quando a fonte foi o Ca(NO₃)₂.4H₂O, principalmente, ou, em menor proporção, o CaSO₄.2H₂O (Quadro 14). As razões das diferenças entre as duas fontes já foram previamente expostas.

Eventuais perdas de Mg e K, em resposta à aplicação de Ca, por meio de fontes que permitam sua mobilização no perfil do solo, têm sido relatadas. Com relação ao gesso, essa possibilidade tem sido constatada por diversos autores (Ririe et al., 1952; Pearson et al., 1962; Ritchey et

al., 1980; Maria et al.,1993; Wadt & Wadt., 1999). Os resultados experimentais observados no presente estudo são coincidentes para o Mg (Quadros 15 e 16). A aplicação de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ elevou a quantidade de Mg nos efluentes do LA em relação ao LV. As quantidades muito elevadas de Mg nos efluentes, quando utilizado o $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, foram devidas à contaminação do reagente com Mg. Em consequência, esse tratamento não foi considerado nas respectivas análises estatísticas (Quadro 16).

Quadro 13. Quantidade de potássio no efluente, considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
-----µmol _c /coluna-----							
LA	Testemunha	11,04	9,07	5,93	3,20	2,77	32,01
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	36,34	22,38	13,71	6,99	2,98	82,40
	CaSO_4	11,31	10,50	12,56	17,52	13,83	65,72
	CaSiO_3	10,27	8,19	5,91	3,12	3,58	31,08
	CaCO_3	11,18	6,39	6,02	3,10	3,68	30,38
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	11,22	3,50	12,59	11,73	10,19	49,24
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	12,31	10,35	14,30	13,09	9,49	59,54
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	10,73	8,35	5,40	3,15	3,70	31,34
	Média Geral ^{1/}	14,30	9,84	9,55	7,74	6,28	47,71
LV	Testemunha	1,94	1,79	1,61	1,90	2,34	9,57
	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	6,95	7,89	8,54	6,88	5,93	36,20
	CaSO_4	1,51	1,60	1,58	2,11	2,63	9,43
	CaSiO_3	1,56	1,58	1,59	1,67	2,14	8,55
	CaCO_3	1,53	1,61	1,55	1,85	2,15	8,69
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$	1,87	1,77	1,72	1,76	2,06	9,18
	$\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	1,59	2,06	1,97	2,40	2,58	10,61
	$\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3 + \frac{1}{2} \text{CaCO}_3$	1,73	1,56	1,63	1,88	2,25	9,05
	Média Geral ^{1/}	2,33	2,48	2,52	2,56	2,76	12,66

^{1/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

A determinação da condutividade elétrica do efluente mostra a lixiviação de eletrólitos das colunas de solo (Quadros 17 e 18). Assim, resumidamente, constatam-se valores mais elevados com aplicação de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, intermediários quando incorporado o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e próximos aos da testemunha quando utilizados o CaSiO_3 ou o CaCO_3 como fontes de Ca. O $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dissolve-se rapidamente e sua concentração no efluente declina com a sucessão de lixiviações. O $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dissolve-se mais lentamente e, associada à maior interação do sulfato com os componentes da fase sólida do solo, sua liberação é mais lenta, mostrando presença a partir das lixiviações intermediárias. Por último, as outras duas fontes são muito pouco solúveis, sem reflexos após aplicação das cinco lâminas de água deionizada, que totalizaram 250 mm.

Quadro 14. Contrastes médios comparando a quantidade de potássio no efluente, considerando a fonte de Ca utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
-----µmolc-----							
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	3,73**	-25,17**	0,50	-0,59	0,91	0,30	-1,58
Lixiviação 2	0,88	-14,50**	-0,96	-3,21	-1,79	5,85**	-2,00
Lixiviação 3	4,14*	-4,25*	2,60*	-6,59**	0,10	-2,74	-8,90**
Lixiviação 4	5,18**	1,63**	1,41**	-14,40**	-0,02	-3,61**	-9,93**
Lixiviação 5	4,01**	4,44**	0,76**	-10,20**	0,11	-3,60**	-5,79**
Quantidade total	17,95**	-37,85**	4,31	-34,99**	-0,70	-3,80	-28,20**
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	0,45**	-5,31**	0,20*	0,03	-0,03	-0,21	0,14
Lixiviação 2	0,80**	-6,19**	0,20	-0,01	0,04	0,04	-0,50*
Lixiviação 3	1,05**	-6,87**	0,20	-0,01	-0,05	0,08	-0,34
Lixiviação 4	0,75**	-4,94**	0,14*	-0,35**	0,17	0,38**	-0,52**
Lixiviação 5	0,48**	-3,63**	-0,01	-0,48**	0,01	0,35*	-0,33*
Quantidade total	3,53**	-26,95**	0,73*	-0,81	0,14	0,65	-1,56**

^{1/} C1: testemunha vc. Fontes de Ca. C2: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ vs. outras fontes de Ca. C3: ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + CaSiO_3 + CaCO_3) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + $\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$) + ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$ + $\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$). C4: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ vs. (CaSiO_3 + CaCO_3). C5: CaSiO_3 vs. CaCO_3 . C6: ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + $\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + CaCO_3) + ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$ + $\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$). C7: ($\frac{1}{2} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + CaCO_3) vs. ($\frac{1}{2} \text{CaSiO}_3$ + $\frac{1}{2} \text{CaCO}_3$).

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 15. Quantidade de magnésio no efluente, considerando o solo e a fonte de Ca utilizada

Solo	Fonte	Lixiviação					Total
		1	2	3	4	5	
		————— $\mu\text{mol}_c/\text{coluna}$ —————					
LA	Testemunha	78,9	47,9	25,2	13,3	11,7	176,9
	Ca(NO ₃) ₂ ^{1/}	2.962,8	1.566,3	596,3	159,3	35,6	5.320,3
	CaSO ₄	83,8	99,3	142,5	139,3	52,4	517,3
	CaSiO ₃	75,7	50,8	26,7	12,9	14,2	180,2
	CaCO ₃	83,4	36,8	26,3	13,4	15,5	175,4
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	82,8	23,3	144,8	98,7	62,7	412,3
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	93,2	91,3	172,4	103,6	54,9	515,4
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	75,7	45,8	22,4	13,2	15,3	172,5
	Média Geral ^{2/}	81,9 A	56,5	80,0	56,3	32,4 B	307,1
LV	Testemunha	18,4	16,1	12,7	12,5	13,8	73,4
	Ca(NO ₃) ₂ ^{1/}	2.816,1	2.581,0	2.484,5	1.438,5	845,6	1.0165,7
	CaSO ₄	15,8	25,0	11,3	14,2	15,7	82,1
	CaSiO ₃	10,0	17,7	10,6	10,9	12,3	61,5
	CaCO ₃	11,1	14,4	12,4	12,1	13,3	63,2
	½ CaSO ₄ + ½ CaSiO ₃	18,2	14,1	11,3	11,8	12,9	68,3
	½ CaSO ₄ + ½ CaCO ₃	24,6	16,1	14,2	16,0	18,5	89,4
	½ CaSiO ₃ + ½ CaCO ₃	20,3	11,6	11,0	12,9	14,0	69,8
	Média Geral ^{2/}	16,9 B	16,4	11,9	12,9	14,3 A	72,5

^{1/} O Ca(NO₃)₂ foi excluído da análise estatística por contaminação com magnésio. ^{2/} Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 5 % pelo teste F para solos. Ausência de letra para a média geral indica não-homogeneidade de variâncias para solos.

Quadro 16. Contrastes médios comparando a quantidade de magnésio no efluente, considerando a fonte de Ca utilizada

Variável dependente	Contraste ^{1/}						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
-----μmol _e -----							
Latossolo Amarelo							
Lixiviação 1	3,6		3,0	-4,3	7,7	1,7	-17,5*
Lixiviação 2	10,1		-8,8	-55,5**	-13,9	45,2**	-45,5**
Lixiviação 3	63,9		48,0	-1.16,0**	-0,3	-47,4	-150,0**
Lixiviação 4	50,3**		16,6**	-1.26,1**	0,5	-40,3**	-90,4**
Lixiviação 5	24,1**		16,9**	-37,6**	1,3	-27,6**	-39,6**
Quantidade total	151,9**		75,7*	-339,4**	-4,8	-68,3	-342,9**
Latossolo Vermelho							
Lixiviação 1	-1,7		8,7*	-5,3	1,1	4,3	-4,3
Lixiviação 2	0,4		-5,1*	-8,9*	-3,4	-0,3	-4,5
Lixiviação 3	-0,9		0,7	0,2	1,8	1,3	-3,2*
Lixiviação 4	0,5		1,2	-2,7*	1,2	2,7*	-3,1*
Lixiviação 5	0,6		1,4	-3,0	1,0	3,4	-4,5*
Quantidade total	-1,0		6,9	-19,7*	1,8	11,3	-19,5*

^{1/} C1: testemunha vs. Fontes de Ca. C2: Ca(NO₃)₂.4H₂O vs. outras fontes de Ca. C3: (CaSO₄.2H₂O + CaSiO₃ + CaCO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C4: CaSO₄.2H₂O vs. (CaSiO₃ + CaCO₃). C5: CaSiO₃ vs. CaCO₃. C6: (½ CaSO₄.2H₂O + ½ CaSiO₃) vs. (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) + (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃). C7: (½ CaSO₄.2H₂O + CaCO₃) vs. (½ CaSiO₃ + ½ CaCO₃).

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.

4.2. Perfil de distribuição das características químicas nas colunas de solo

O perfil de distribuição das características químicas avaliadas nas colunas, ao final do ensaio, foi representado graficamente. Nessa representação, cada ponto corresponde à profundidade média do respectivo anel que compõe o tubo de PVC que sustenta a unidade experimental. Assim, os dez pontos experimentais encontraram-se representados nas profundidades de 3,5; 10,5; 17,5; 24,5; 31,5; 38,5; 45,5; 52,5; 59,5 e 66,5 cm. As fontes de Ca utilizadas no ensaio foram incorporadas como partículas de granulometria muito fina no solo contido

nos três anéis superiores, correspondentes à profundidade de 0–21 cm, apresentando valores diferentes devido à migração dos compostos aplicados.

A distribuição do Ca trocável no LA é mostrada na Figura 1. Pela comparação da testemunha com o gráfico que representa a aplicação do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, verifica-se que apreciável quantidade do Ca aplicado foi lixiviado, pois os pontos experimentais alinham-se próximos à vertical, com valores pouco maiores que os da testemunha. Ademais, as quantidades desse cátion nos respectivos efluentes confirmam essa suposição (Quadro 5).

Também houve movimentação acentuada do Ca quando aplicado o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, porém em menor proporção que o registrado para o $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Figura 1). A média dos teores de Ca, inicialmente incorporados como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ no solo contido nos três anéis superficiais, caso a movimentação desse cátion fosse semelhante dentre as fontes utilizadas, deveria ser próxima àquelas observadas para a mesma profundidade quando da incorporação do CaSiO_3 ou CaCO_3 . Contudo, foi sensivelmente inferior, sendo parte do Ca adicionada como $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lixiviado (Quadro 5) e o restante distribuído ao longo da coluna (Figura 1). Observando os três anéis superficiais, verifica-se a movimentação entre 3,5 e 17,5 cm. Obviamente, essa movimentação continuou ao longo da coluna, confirmando-se, pelo incremento do teor em profundidade, a tendência à lixiviação.

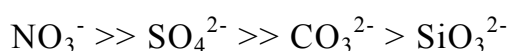
Na comparação entre o CaSiO_3 e o CaCO_3 , caso a movimentação respondesse exclusivamente à solubilidade, esperar-se-ia maior deslocamento do Ca ligado ao metassilicato (Figura 1). No entanto, ocorreu o inverso, como pode ser observado pela maior declividade com tendência negativa do Ca, incorporado como carbonato no solo contido nos três anéis superiores. Também, há evidências de maiores teores de Ca proveniente desta fonte nas profundidades de 24,5 e 31,5 cm. Essa mobilidade do Ca originário do carbonato, maior que a do silicato, deve

estar associada às reações do CaCO_3 no solo, que, em uma etapa preliminar, levaria à formação do par iônico CaHCO_3^+ (Adams, 1971) e, posteriormente, à liberação do Ca^{2+} . O metassilicato não forma pares iônicos (Adams, 1971) e, conseqüentemente, sua ligação com os componentes da fase sólida do solo é mais forte, dificultando o transporte do Ca. Independentemente da fonte, pôde ser observada, quando aplicados esses sais, maior movimentação do Ca em profundidade quando se utilizou o carbonato.

Analisadas as misturas de corretivos, mostraram-se mais eficientes as que incluem o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, por permitirem o deslocamento do Ca a maiores profundidades (Figura 1). Das duas estudadas, a associação com o CaCO_3 seria a melhor, pela maior mobilidade mostrada por esta fonte em relação ao silicato. Completando, a utilização de carbonato de Ca e wollastonita, de forma conjunta, não apresentou vantagem em comparação com o uso desses corretivos individualmente.

Na visualização da Figura 2, que mostra a distribuição do Ca no LV, observa-se a interação das fontes de Ca com este solo, muito argiloso e com maior conteúdo de matéria orgânica (Quadro 1). Assim, devido ao curto período de condução do ensaio e ao volume total de água adicionado, o Ca originário do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ concentrou-se mais na extremidade inferior da coluna. Ademais, as cinco lâminas de água deionizada aplicadas não permitiram a lixiviação de Ca ligado às outras fontes (Quadro 5), mas evidenciaram seu deslocamento quando utilizado o $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e, em muito menor proporção, o CaCO_3 e o CaSiO_3 .

Com os dados dos Quadros 5 e 6 e das Figuras 1 e 2, pode-se estabelecer esta ordem decrescente de mobilidade do Ca, em resposta ao ânion acompanhante:



Essas diferenças foram atenuadas no material mais argiloso.

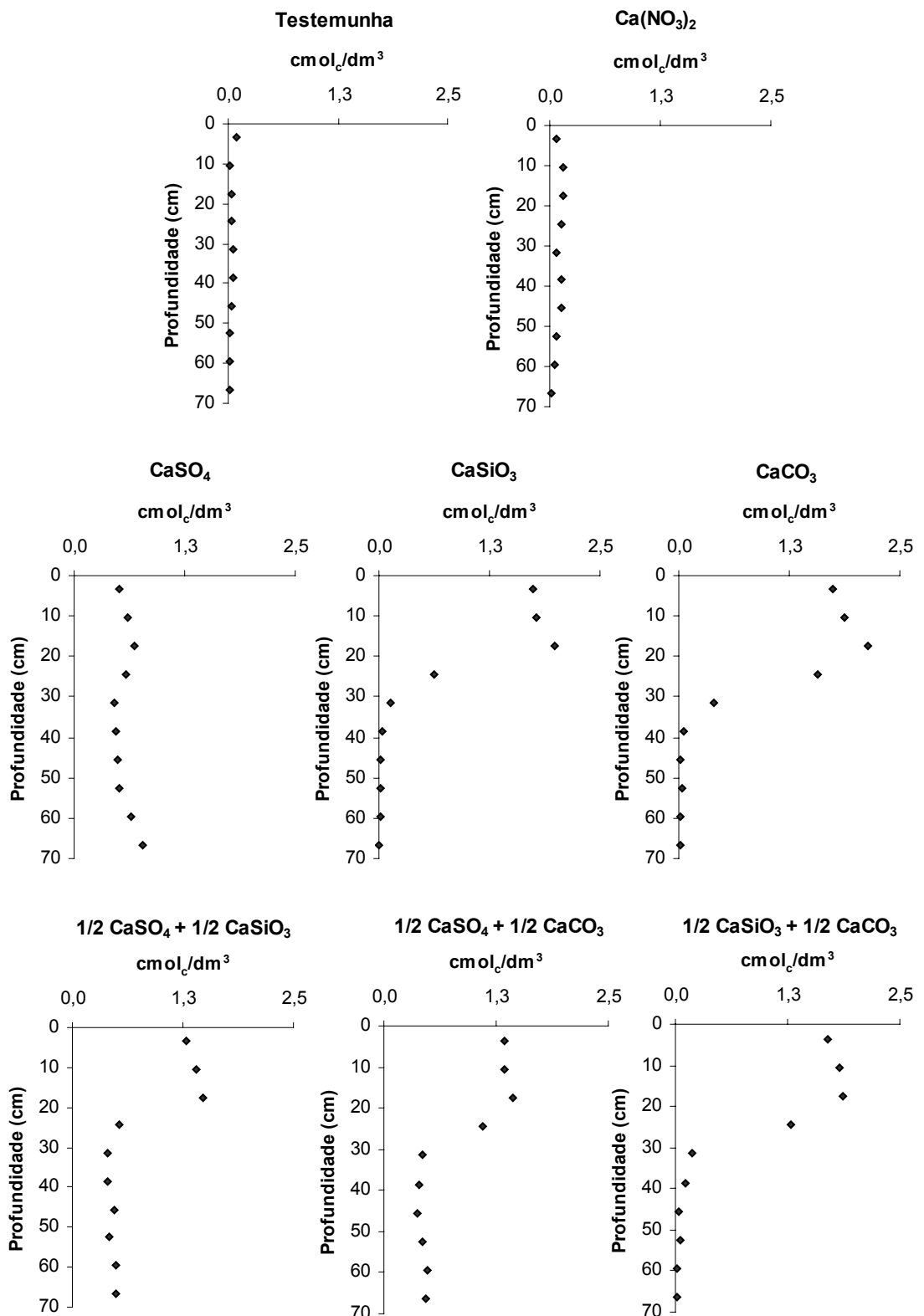


Figura 1. Distribuição do cálcio trocável no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

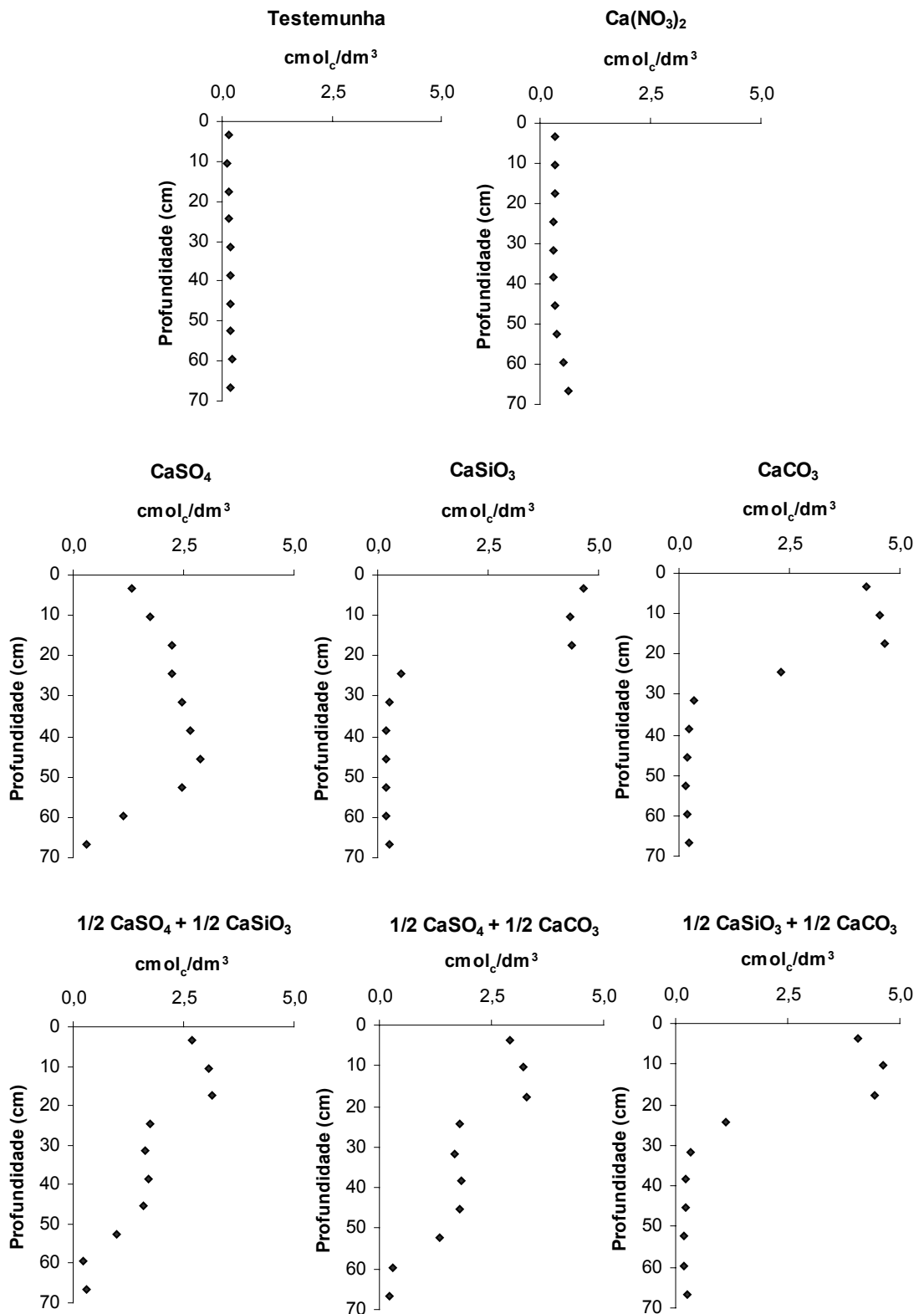


Figura 2. Distribuição do cálcio trocável no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

A utilização de fontes de Ca tem como objetivo, além de incorporar o nutriente em solos geralmente pobres, corrigir os efeitos prejudiciais decorrentes da acidez do solo, dentre os quais se destaca o pH do solo e, principalmente, a presença de Al no complexo sortivo. Considerando o pH do solo, os sais neutros aplicados como $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ou $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ praticamente não modificaram essa característica, como observado nas Figuras 3 e 4. As outras duas fontes estudadas, CaCO_3 e CaSiO_3 , elevaram o pH, porém com poucas modificações além da camada de aplicação. Corroborando observações realizadas para o Ca (Figuras 1 e 2), o CaCO_3 movimentou-se mais que o CaSiO_3 , além da camada de incorporação das fontes, como indicado pelo maior valor de pH determinado a 24,5 cm (Figuras 3 e 4).

De maneira geral, a distribuição do Al foi parecida para ambos os solos, caracterizada pela diminuição acentuada de seus teores na profundidade onde houve a incorporação das fontes e imediatamente abaixo desta, notadamente no LA, devido à menor capacidade-tampão desse solo (Figuras 5 e 6). Inicialmente, a diminuição do teor do cátion, imposta pela utilização do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, se deveu à retirada do Al pelo deslocamento por ação de massa do Ca adicionado, promovendo incremento nas camadas mais profundas, além de maiores perdas detectadas nos efluentes (Quadro 9).

Entre os tratamentos com nitrato e sulfato, a distribuição do Al foi similar; contudo, a utilização do sulfato proporcionou menores perdas nos efluentes (Quadros 9 e 10). As razões das diferenças entre essas fontes já foram previamente expostas. Os teores do cátion, verificados nos tratamentos com esses ânions, apresentaram diferentes condições químicas para o crescimento das plantas. Assume-se que a formação do AlSO_4^+ diminui a toxicidade do alumínio às raízes (Pavan et al., 1982), principalmente além da camada arável, fato não verificado para o nitrato.

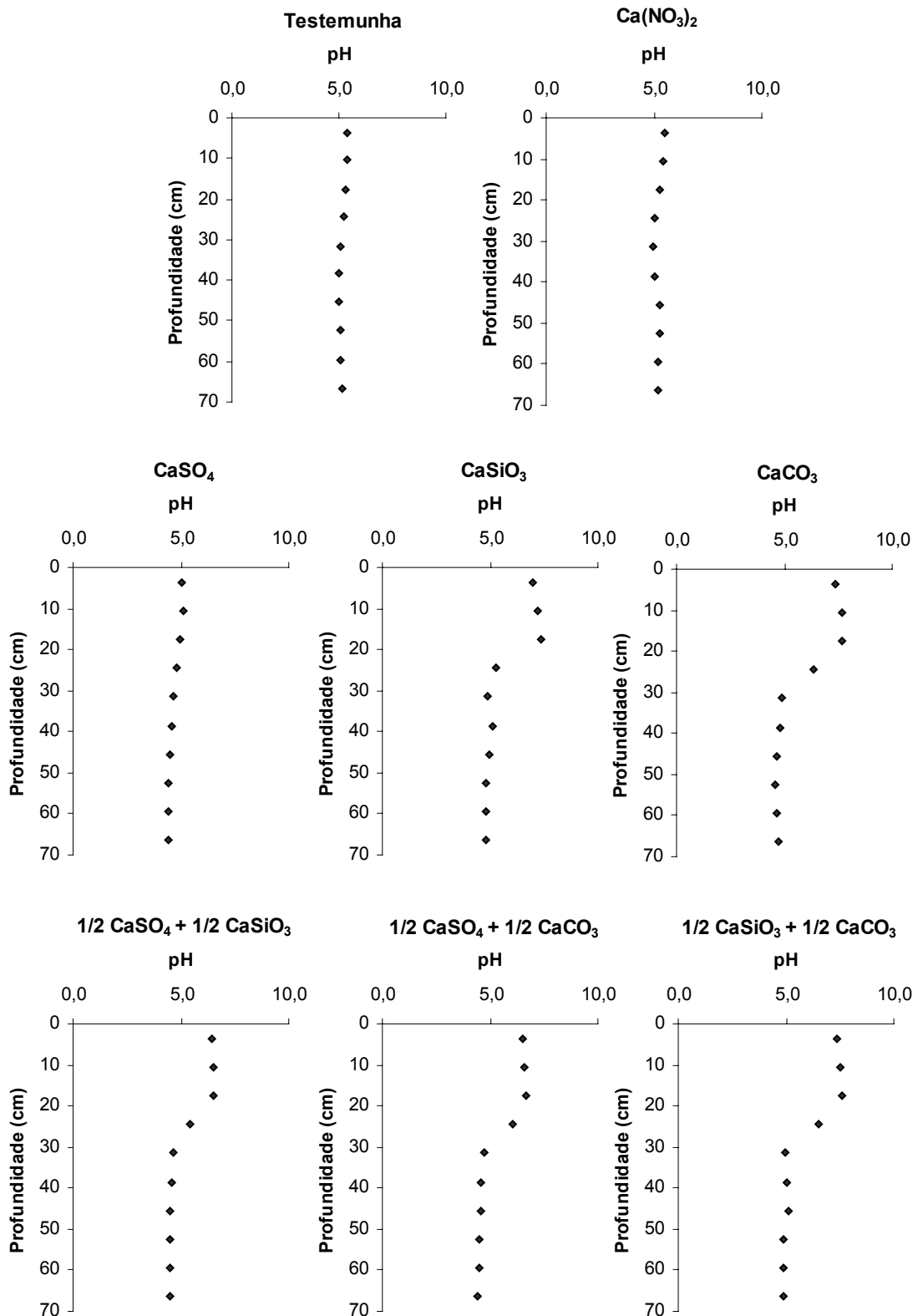


Figura 3. Valores de pH em água (extrato 1:2,5) do Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

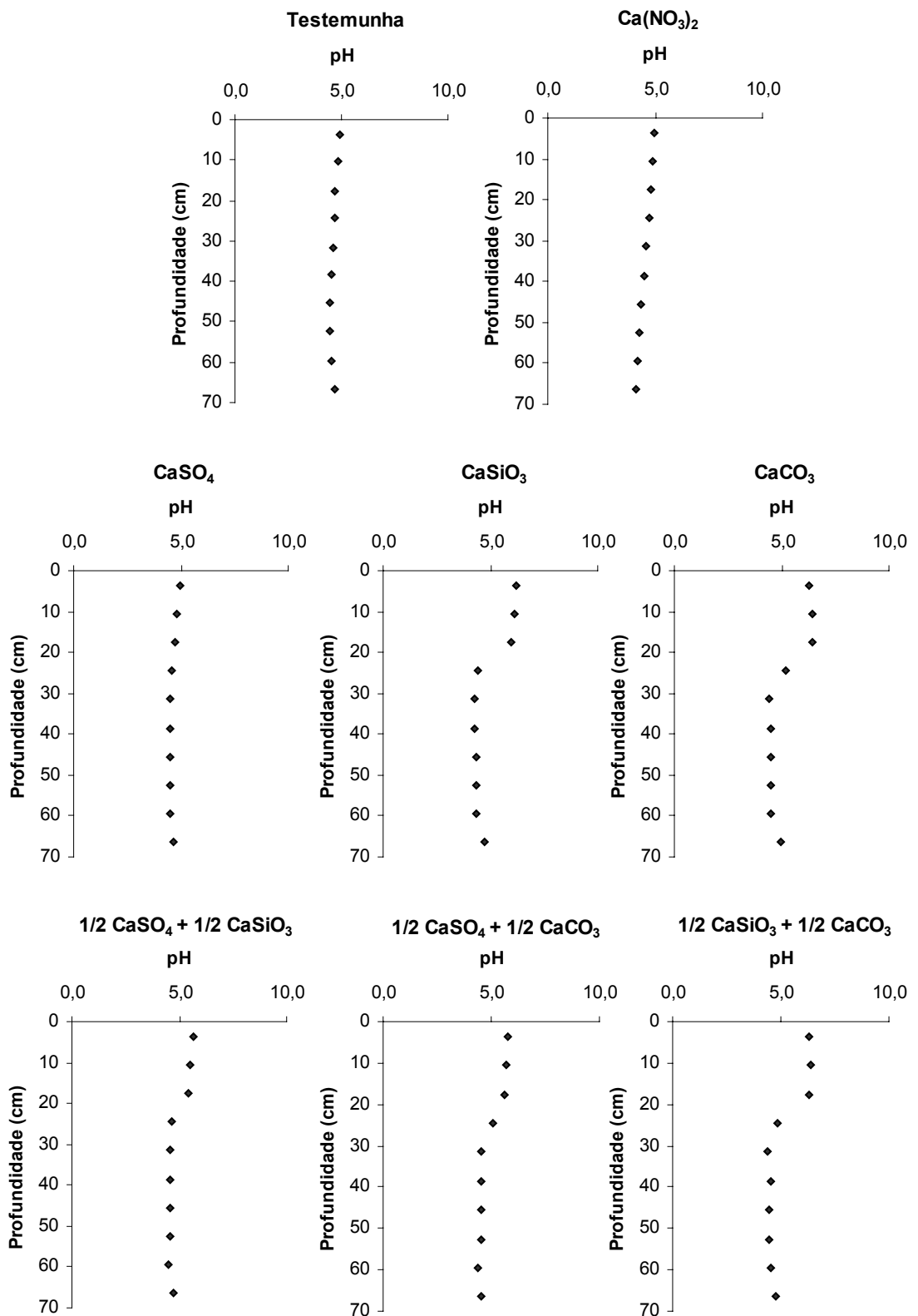


Figura 4. Valores de pH em água (extrato 1:2,5) do Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

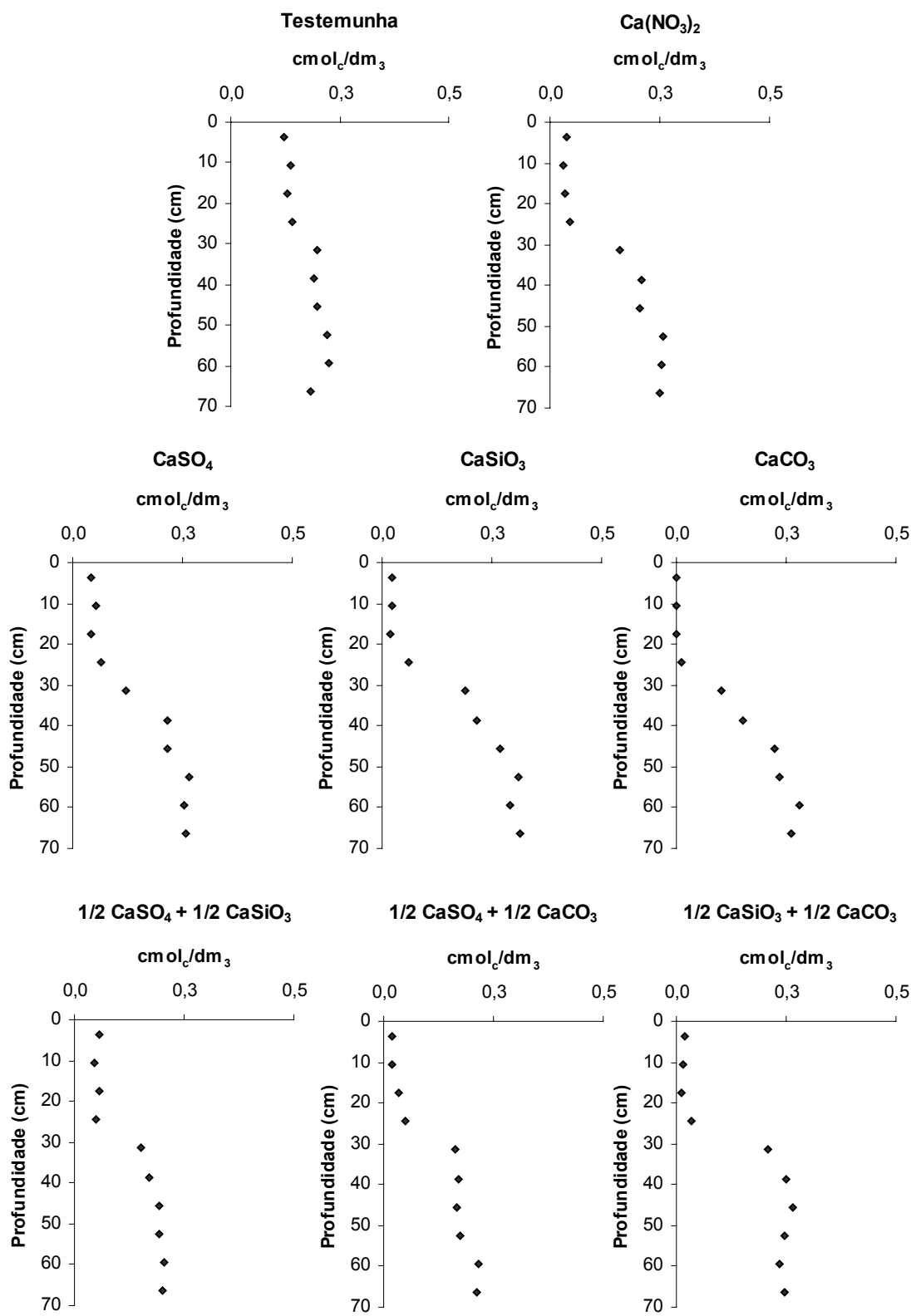


Figura 5. Distribuição do alumínio trocável no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

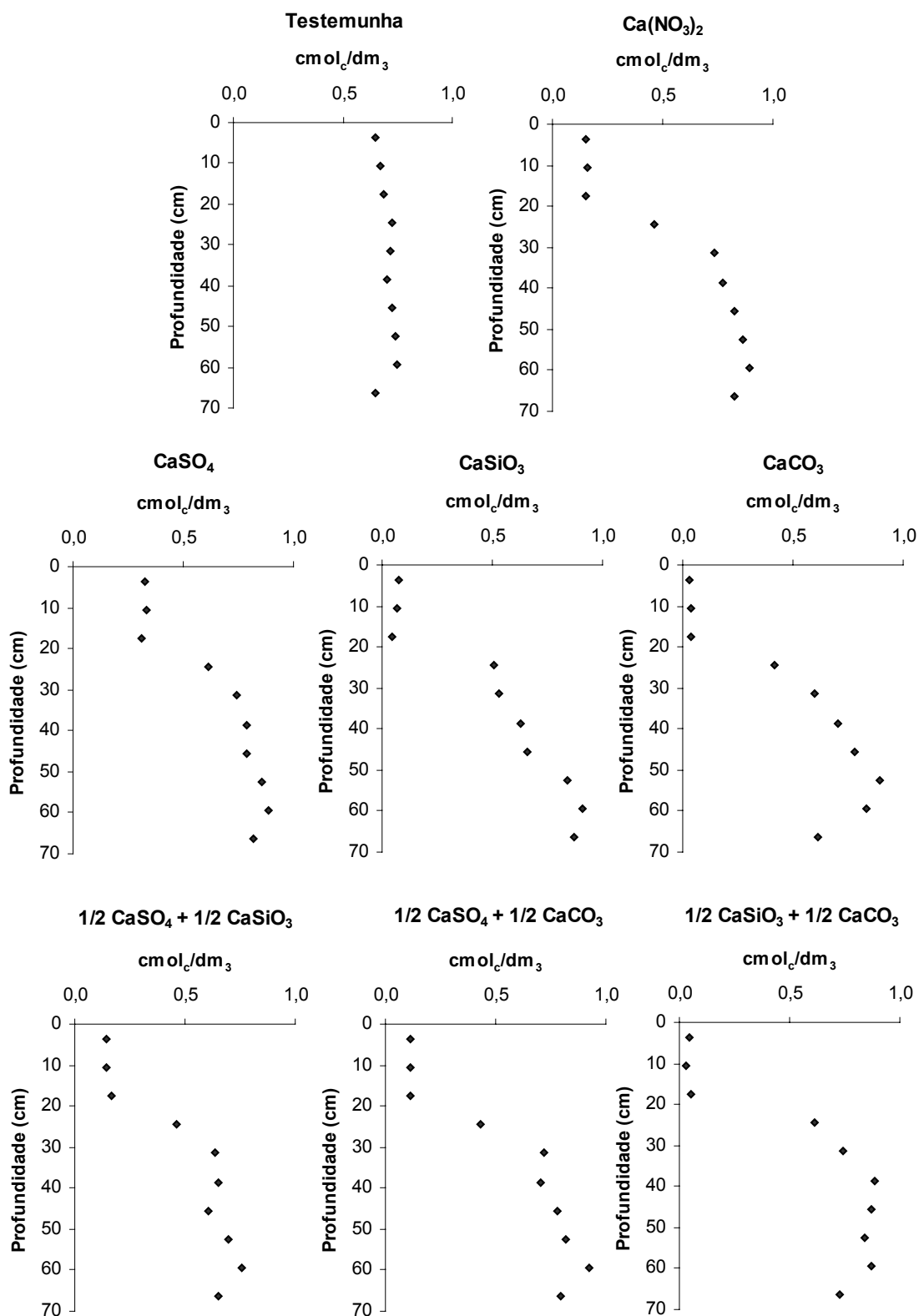


Figura 6. Distribuição do alumínio trocável no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

As fontes pouco solúveis diferiram, principalmente, quanto à diminuição do teor de Al nas camadas subjacentes à incorporação, sendo mais expressiva para o CaCO_3 em relação ao CaSiO_3 . O CaCO_3 , mesmo tendo solubilidade inferior (Weast, 1971), apresentou maior movimentação do HCO_3^- , em relação ao HSiO_3^- devido à formação de pares iônicos apenas do primeiro ânion (Adams, 1971). Assim, a maiores profundidades, verifica-se que o CaCO_3 promoveu a diminuição dos teores de alumínio trocável pela retirada parcial desse cátion do complexo sortivo, precipitando-o na forma de Al(OH)_3 por elevação do pH.

Entre as misturas com $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, observaram-se menores teores de Al na camada de aplicação para o CaCO_3 em relação ao CaSiO_3 . Principalmente no LA, a resposta à utilização dessas misturas foi acentuado até a camada imediatamente subjacente à sua aplicação. Tais misturas também favoreceram incrementos na quantidade do cátion nos efluentes frente à testemunha, em maior magnitude no LA (Quadros 9 e 10), diminuindo seus teores em profundidade. De modo similar às fontes únicas básicas, a mistura de CaCO_3 e CaSiO_3 promoveu redução do teor de alumínio trocável principalmente na camada de incorporação e, inclusive, imediatamente abaixo desta, sendo essa resposta atenuada no LV, solo muito argiloso.

A movimentação do sulfato é claramente mostrada na distribuição ao longo das colunas. No LA (Figura 7), mais arenoso, as doses menores aplicadas nas misturas, frente à fonte única, levaram a determinar teores próximos aos da testemunha no solo contido nos anéis superficiais. No LV (Figura 8), o perfil de distribuição do sulfato neste solo, muito argiloso, acompanhou o do Ca, quando incorporado na forma de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figura 2). Já, quando analisado o SiO_3^{2-} (Figuras 9 e 10), a disposição dos pontos experimentais mostra coincidência com a do Ca, independentemente da classe de solo analisada (Figuras 1 e 2).

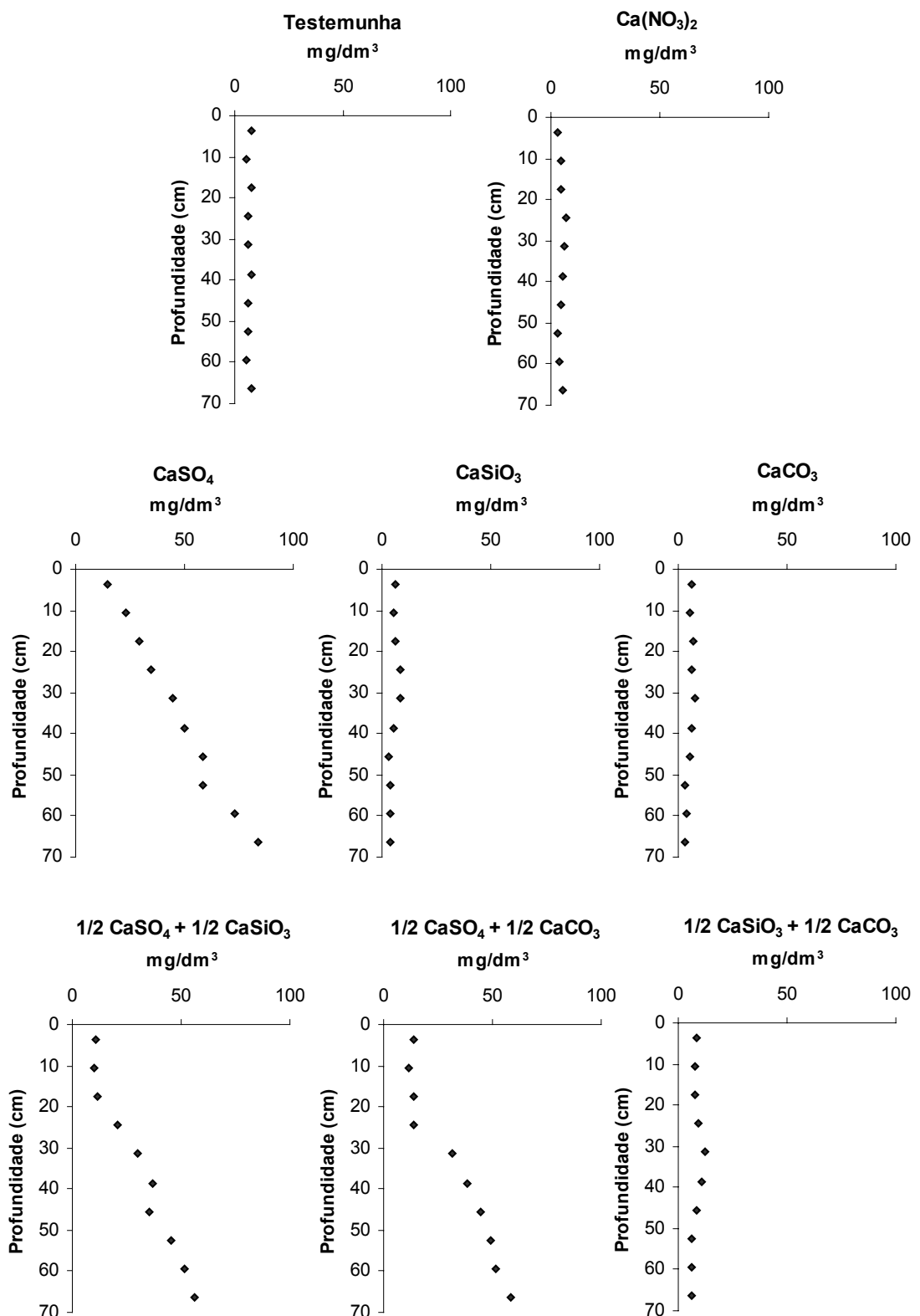


Figura 7. Distribuição do enxofre disponível no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

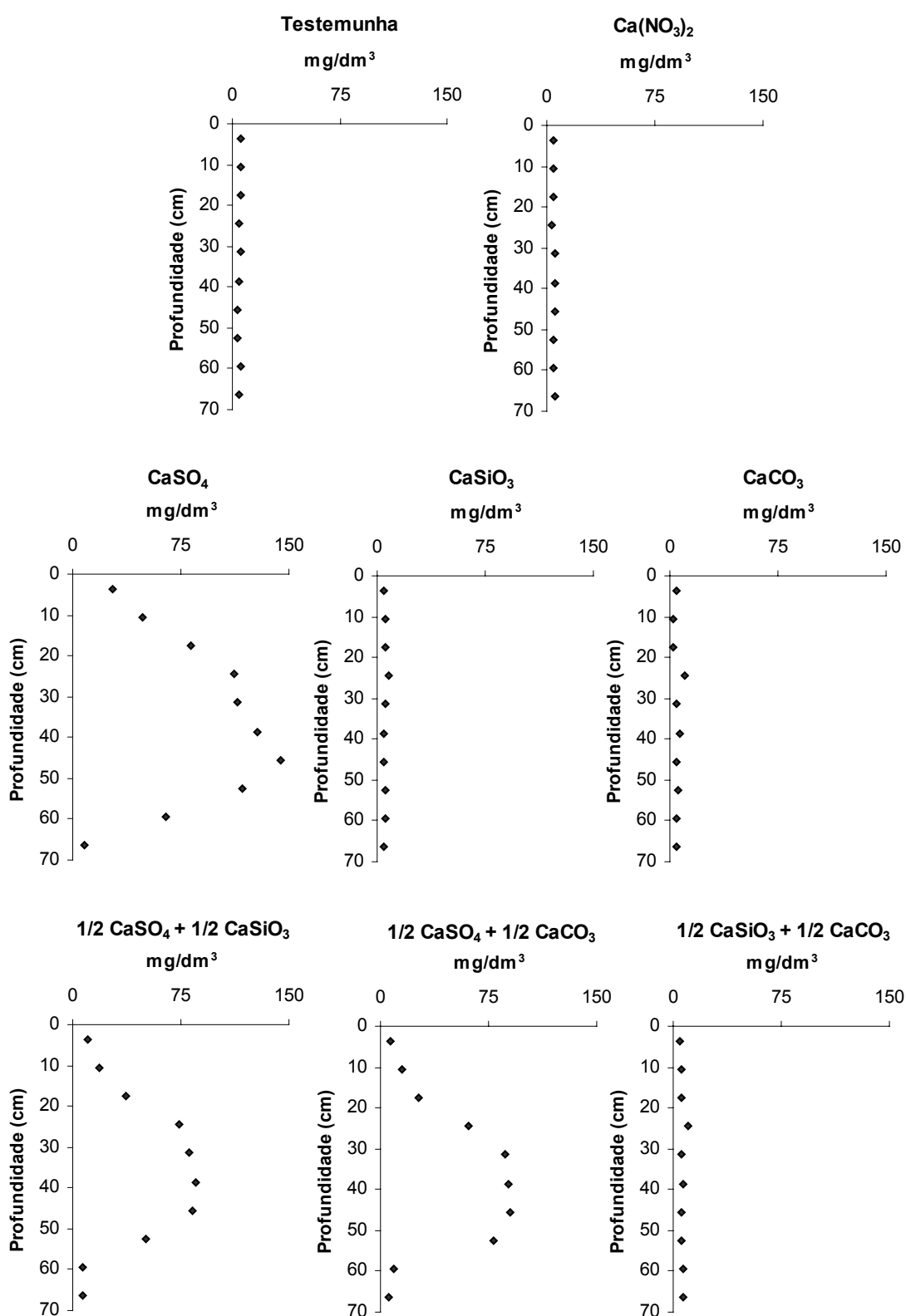


Figura 8. Distribuição do enxofre disponível no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

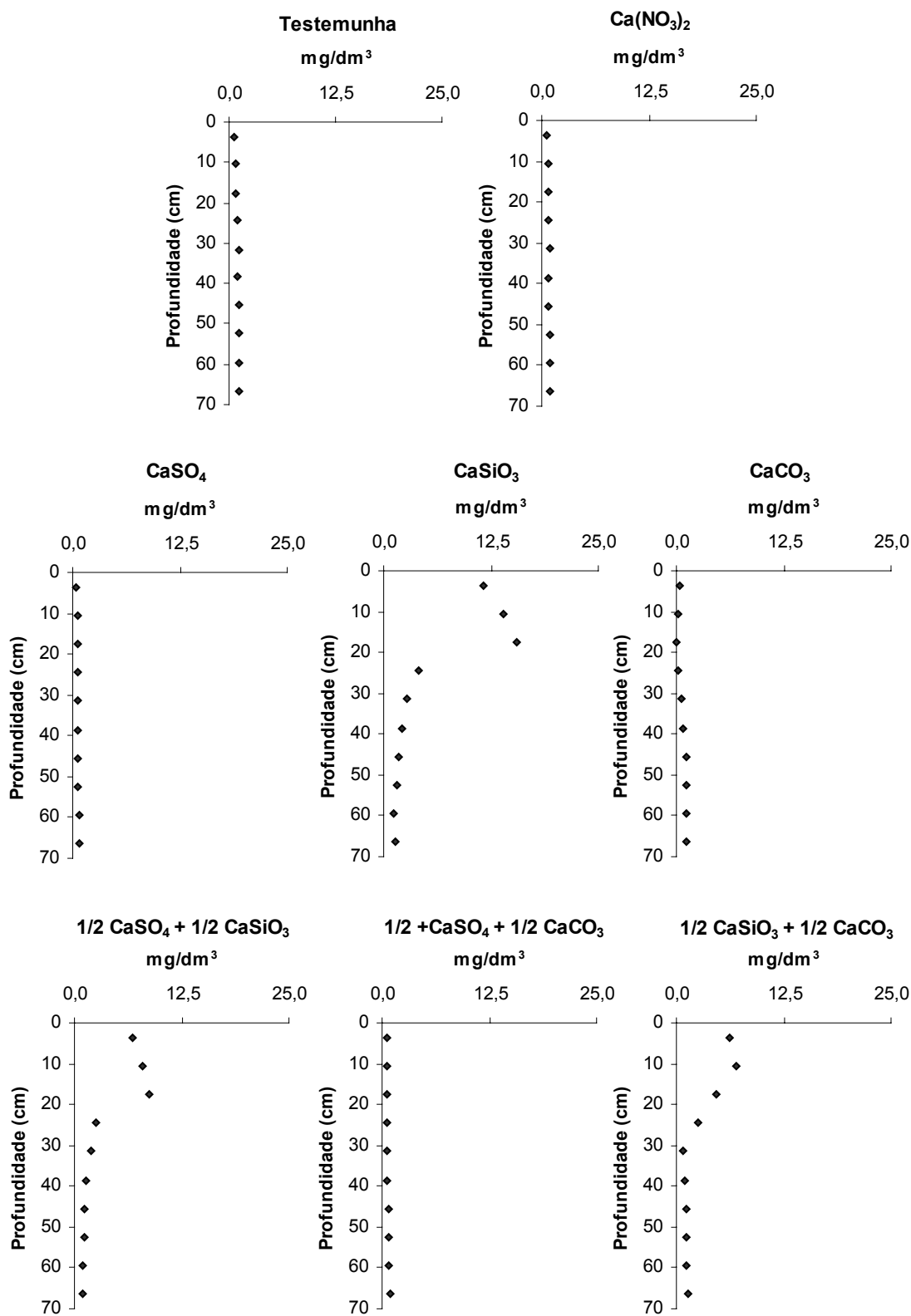


Figura 9. Distribuição do silício disponível no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

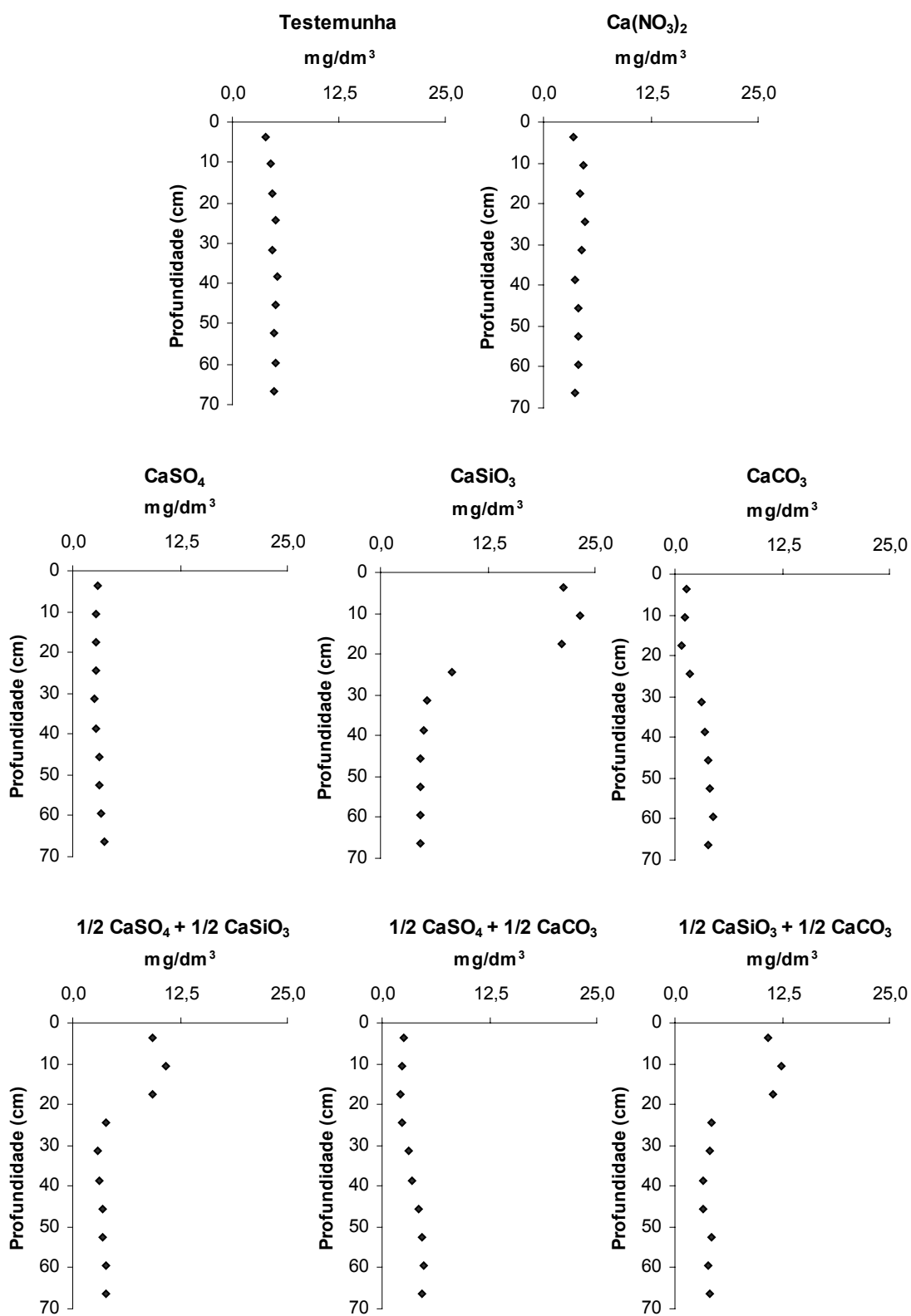


Figura 10. Distribuição do silício disponível no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

Diversas publicações têm indicado a possibilidade de perda de nutrientes como K e Mg, quando da incorporação de teores elevados de Ca no solo (Ririe et al., 1952; Pearson et al., 1962; Ritchey et al., 1980; Maria et al., 1993; Wadt & Wadt., 1999). Essa resposta foi constatada para os dois cátions na análise dos lixiviados (Quadros 13, 14, 15 e 16) e ratificada pelos perfis de distribuição, com destaque para o K (Figuras 11 e 12). Apesar da baixa disponibilidade inicial, de 9 e 12 mg/dm³ para o LA e o LV, respectivamente (Quadro 1), os perfis de distribuição mostram a movimentação do K nas colunas, com incremento do teor em profundidade, principalmente no LA.

No caso do Mg, a contaminação do Ca(NO₃)₂.4H₂O com sais desse cátion, previamente apontada, é confirmada pela disparidade nos teores obtidos para os diferentes tratamentos (Figuras 13 e 14). De forma semelhante ao indicado para o K, o Mg trocável nestes solos apresentou valores extremamente baixos, de 0,04 e 0,06 cmol_c/dm³ para o LA e o LV, respectivamente. A movimentação vertical não se evidencia claramente nas figuras, exceto nos tratamentos que utilizaram o sulfato como fonte de Ca, especialmente no LV. A formação do par iônico MgSO₄⁰ (Adams, 1971) deve ter favorecido esse transporte.

O perfil de distribuição da condutividade elétrica do extrato 1:2,5, para os dois solos, é apresentado nas Figuras 15 e 16. Essa característica responde, exclusivamente, à concentração dos eletrólitos em solução. Assim, sais muito pouco solúveis, como o CaSiO₃ e o CaCO₃, não contribuem para o incremento dos valores da condutividade elétrica. Da visualização das representações, os gráficos aproximaram-se daqueles da distribuição do enxofre disponível (Figuras 7 e 8), ânion presente em maior concentração na solução do solo. No caso do Ca(NO₃)₂.4H₂O, para o LV, o perfil de distribuição da condutividade elétrica assemelha-se àquele mostrado pela contaminação com Mg detectada nas determinações (Figura 14). Ainda, observa-se que o pouco Mg remanescente no solo LA (Figura 13) não alteraria apreciavelmente a condutividade elétrica, na escala utilizada para representá-la (Figura 15).

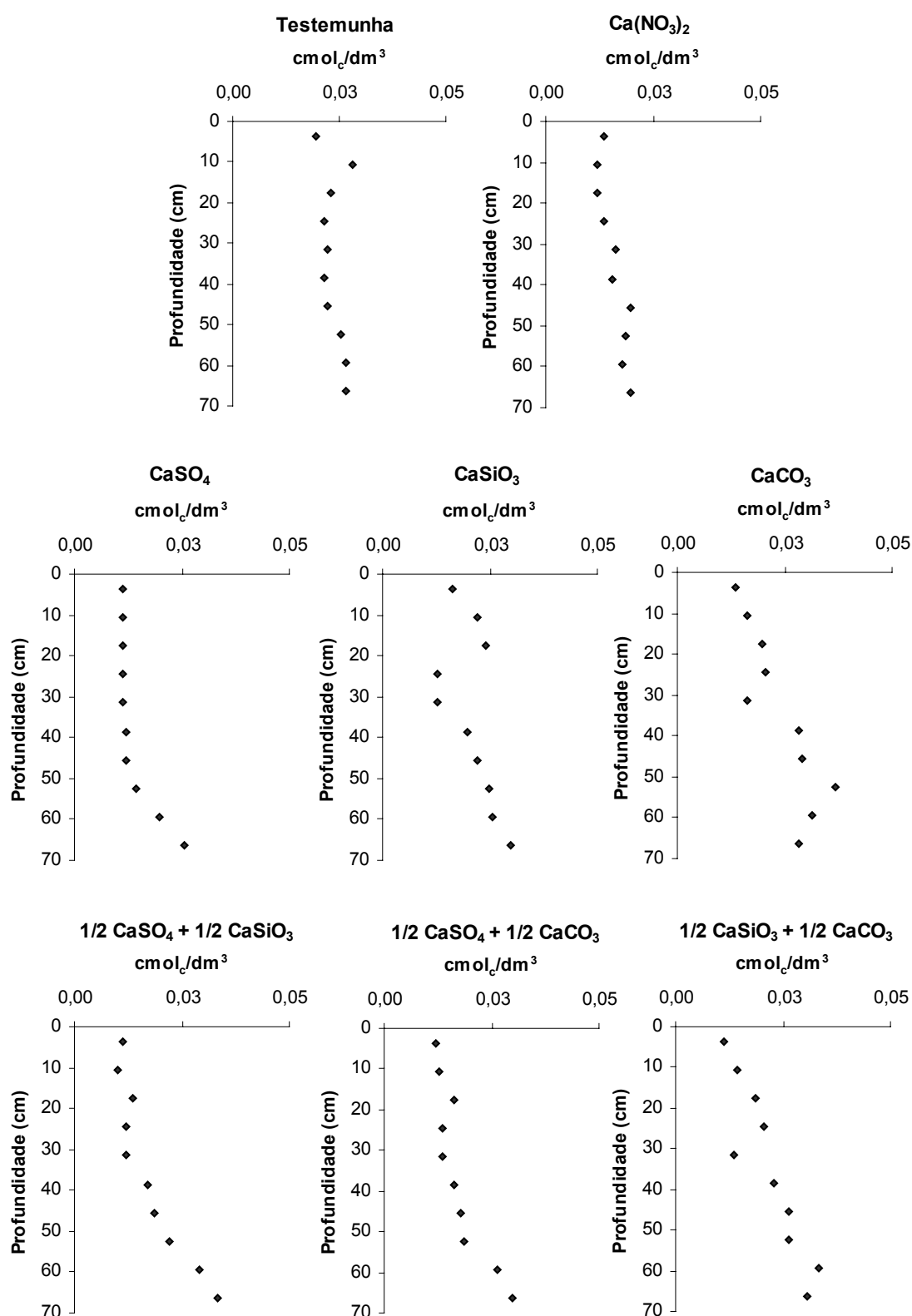


Figura 11. Distribuição do potássio trocável no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

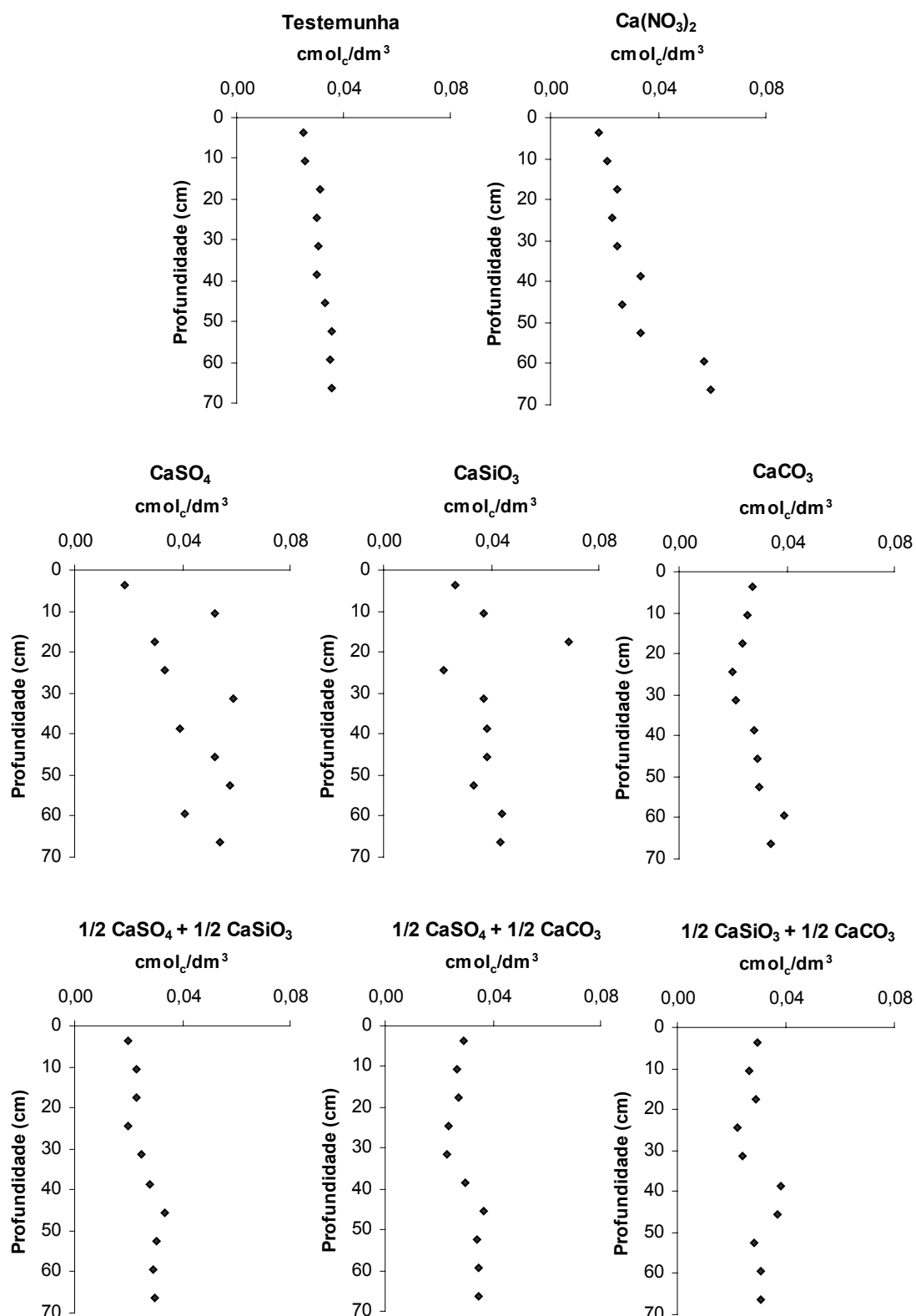


Figura 12. Distribuição do potássio trocável no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

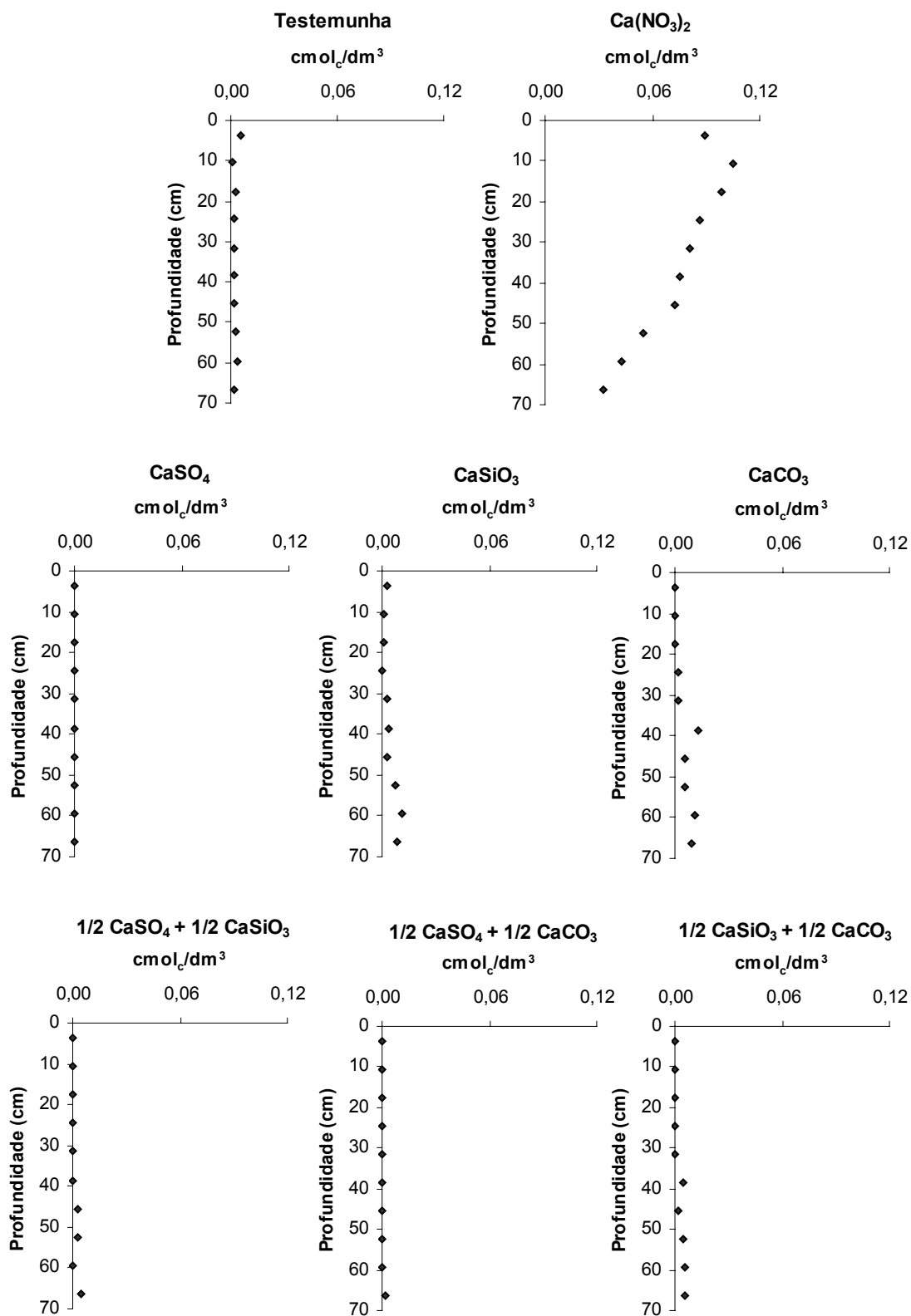


Figura 13. Distribuição do magnésio trocável no Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

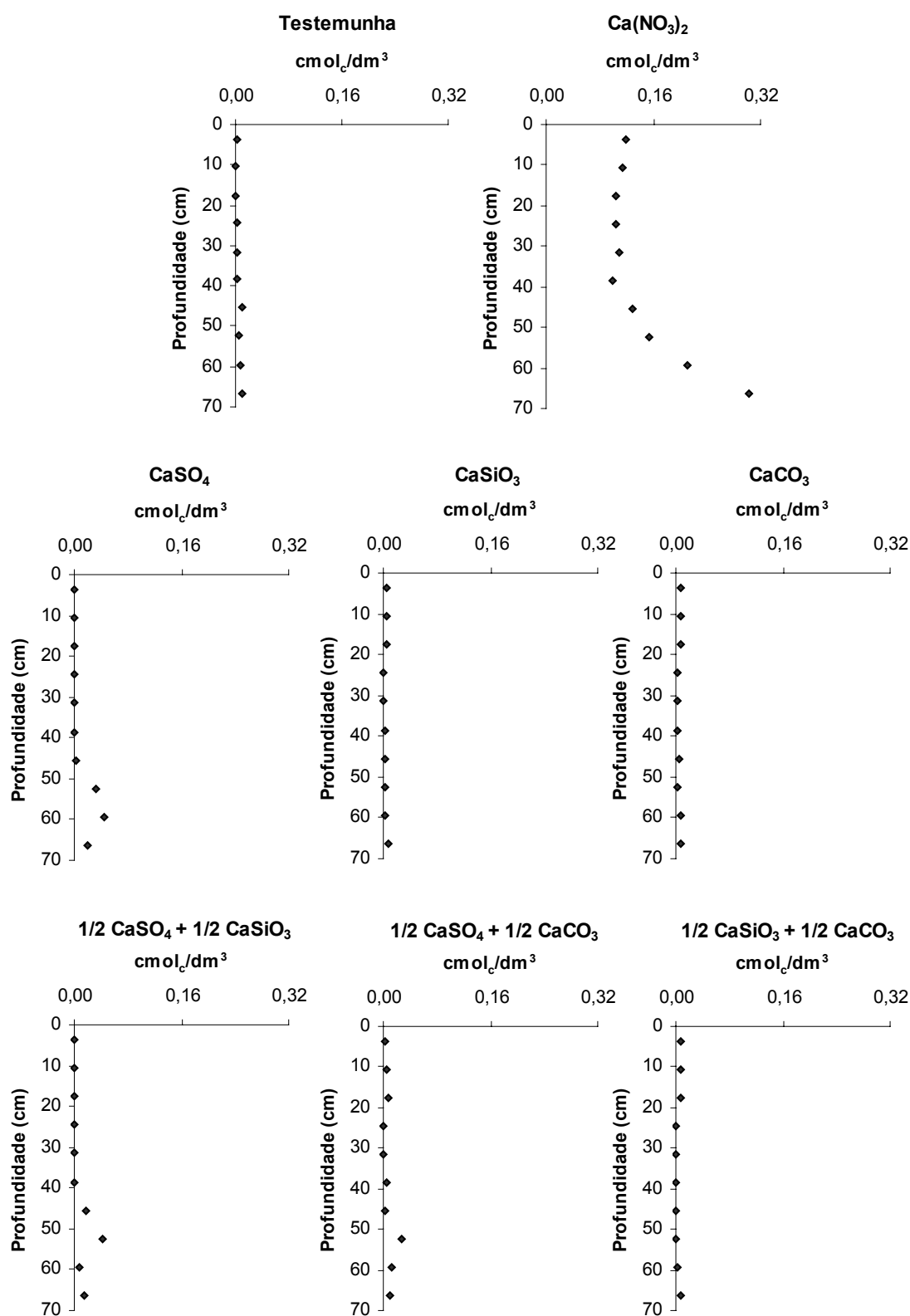


Figura 14. Distribuição do magnésio trocável no Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

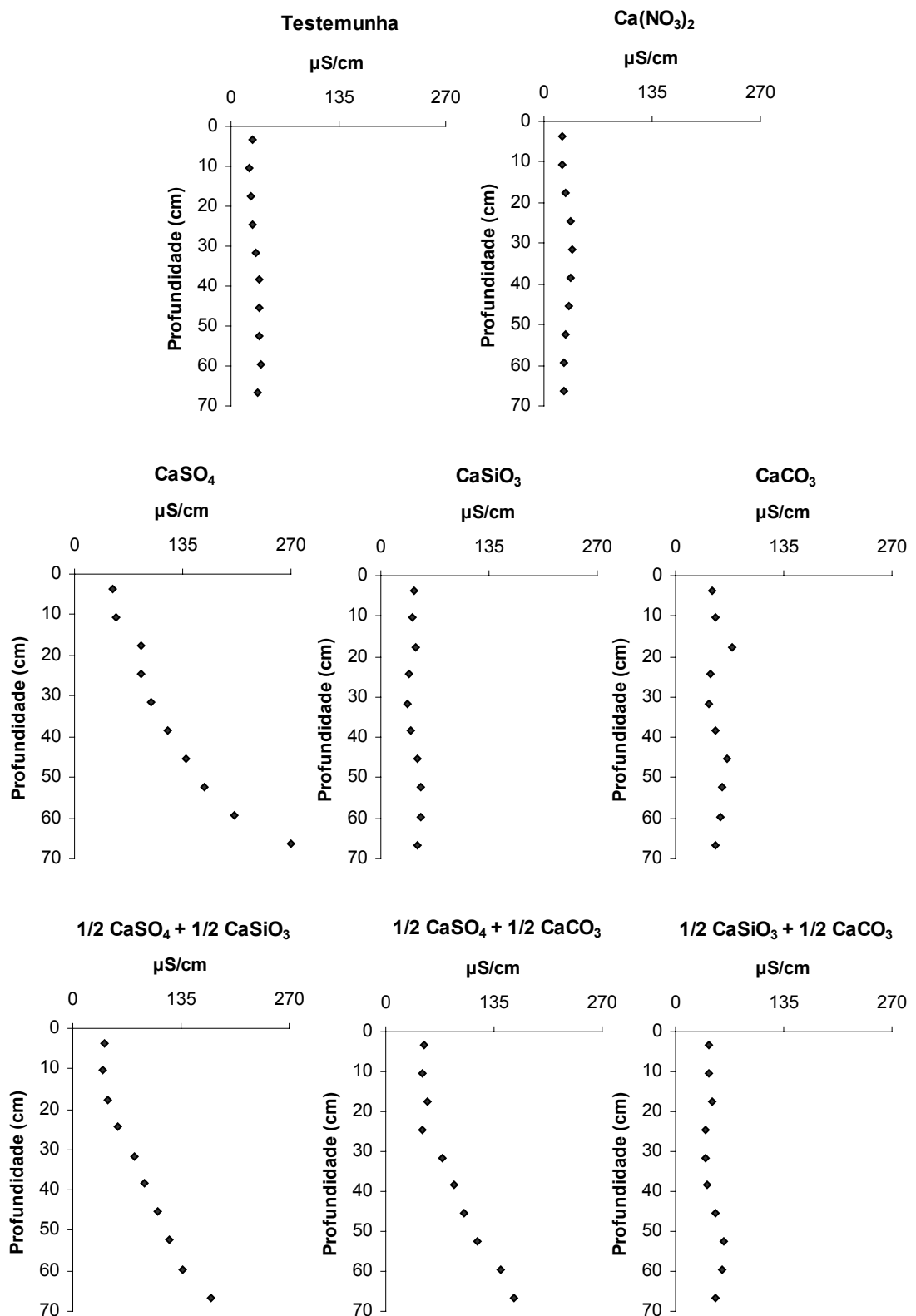


Figura 15. Condutividade elétrica (extrato 1:2,5) do Latossolo Amarelo, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

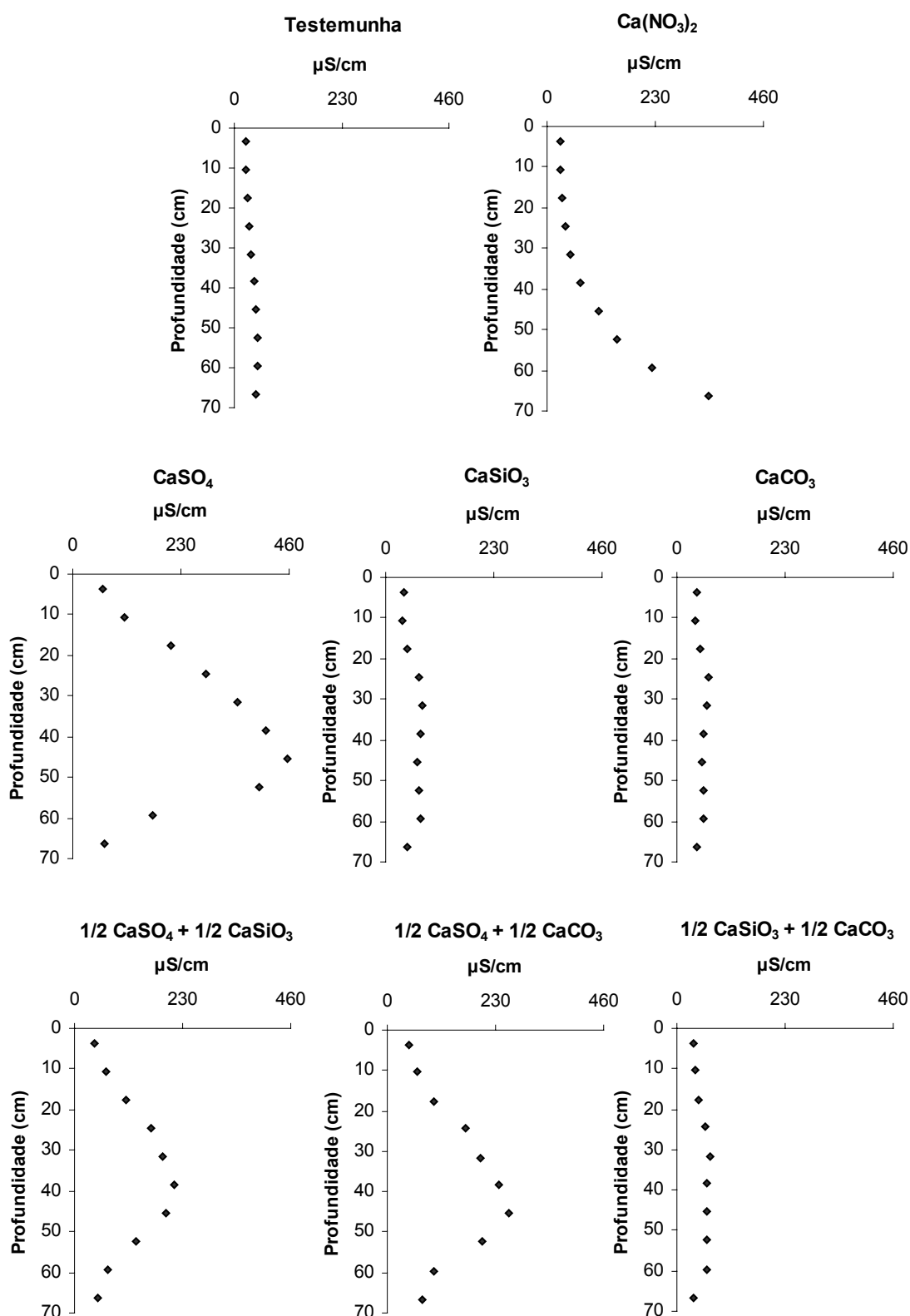
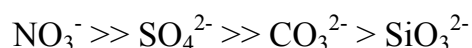


Figura 16. Condutividade elétrica (extrato 1:2,5) do Latossolo Vermelho, em resposta às fontes utilizadas, após aplicação de cinco lâminas de 50 mm (855 mL) de água deionizada.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- Em resposta ao ânion acompanhante, a movimentação do Ca no perfil de solo segue a ordem decrescente de mobilidade:



- A magnitude da mobilidade do Ca depende da composição textural do solo, sendo maior no LA (textura média), comparativamente ao LV (muito argiloso). Essa mobilidade diferenciada é também associada à maior solubilidade em água do $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ seguida do CaSO_4 , e à formação do par iônico CaHCO_3^+ .
- O CaCO_3 e o CaSiO_3 , nessa ordem, aumentam o pH do solo na camada de incorporação. O CaCO_3 movimenta-se a maiores profundidades no perfil de solo, apresentando resposta como corretivo da acidez, após a aplicação da lâmina de água deionizada de 250 mm (855 mL), até 7 cm além da camada de incorporação.
- O CaSO_4 altera pouco o pH do solo, aumentando a acidez e provocando o deslocamento do alumínio em solução.
- Das misturas pesquisadas, a integrada por CaCO_3 e CaSO_4 é a mais apropriada para corrigir os efeitos prejudiciais da acidez do solo em profundidade.

LITERATURA CITADA

- ABRUÑA, F.; VICENTE-CHADLER, J.F. & PEARSON, R.W. Effects of liming on yields and composition of heavily tropical fertilized grasses and soil properties under humid tropical condition. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28:657-661, 1964.
- ADAMS, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35:420-426, 1971.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, ANDA, 1992, 62p. (Boletim técnico, 6)
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5.ap. Viçosa, Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.43-60.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. Bol. Inf. SBCS, 25:27-33, 2000.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO Jr., E.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, UFV, 2001. 131p.

- ALVAREZ V., V.H. & ALVAREZ, G.A.M. Comparação de médias ou teste de hipóteses? Contrastes! Bol. Inf. SBCS, 31:24-34, 2006.
- AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M. & FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. Pesq. Agropec. Bras., 29:1351-1358, 1994.
- ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico. R. Bras. Ci. Solo, 27:231-238, 2003.
- DAL BÓ, M.A. Movimentação de bases e crescimento de raízes de cana-de-açúcar em colunas de solo, em função da adição de diferentes sais de cálcio. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1985. 62p. (Tese de Mestrado)
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. 2.ed. Viçosa, UFV, 1997. 26p. (Boletim de extensão, 29)
- DIAS, L.E. Uso de gesso como insumo agrícola. Seropédica, EMBRAPA-CNPBS, 1992. 6p. (Comunicado Técnico, 7)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Relatório anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1980-1981. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1982. 163p.
- ERNANI, P.R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. R. Bras. Ci. Solo, 10:241-245, 1986.
- ERNANI, P.R. & BARBER, S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetados pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 17:41-46, 1993.
- ERNANI, P.R.; RIBEIRO, M.S. & BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. Scientia Agr., 58:825-831, 2001.
- GONZALEZ-ERICO, E.; KAMPRATH, E.J.; NADERMAN, G.C. & SOARES, W.V. Effect of depth of lime incorporation on growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J., 43:1155-1158, 1979.

- KATO, N. & OWA, N. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: Effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slags. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 67:626-632, 1996.
- KER, J.C.; FILHO, A.C.; OLIVEIRA, C.V. & SANTOS, H.G (Orgs.). VII Reunião Nacional de Correlação e Classificação de Solos - MG. Viçosa, UFV, UFMG, EMBRAPA-CNPS, 2005. 153p. (Guia de Excursão)
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S. & NOLLA, A. Análise de silício no solo, planta e fertilizante. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 50p. (Boletim Técnico, 2)
- LOPES, A.S. Solos sob “cerrado”. Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1983. 162p.
- MARIA, I.C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. & NEPTUNE, A.M.L. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. *Scientia Agr.*, 50:87-98, 1993.
- MESSICK, D.L.; ALLEY, M.M. & ZELAZNY, L.W. Movement of calcium and magnesium in Ultisols from dolomitic limestone. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:1096-1101, 1984.
- NOBLE, A.D.; SUMNER, M.E. & ALVA, A.K. The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:1398-1402, 1988.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.T. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1201-1207, 1982.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to Brazilian Oxisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:33-38, 1984.
- PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. & PERYEA, F.J. Influence of calcium and magnesium salts on acid soil chemistry and calcium nutrition of apple. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:1526-1530, 1987.

- PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F. & VICENT-CHANDLER, J.E. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soil of Puerto Rico. *Soil Sci.*, 93:77-82, 1962.
- PRADO, R.M., FERNANDES, F.M. & NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:287-296, 2003.
- PRADO, R.M. & NATALE, W. Uso da grade aradora superpesada, pesada e arado de discos na incorporação de calcário em profundidade e na produção de milho. *Eng. Agríc.*, 24:167-176, 2004.
- POTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.
- QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R. & RAIJ, B. Efeito da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 6:189-194, 1982.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington DC, U.S. Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60)
- RIRIE, D.; TOTH, S.J. & BEAR, F.E. Movement and effect of lime and gypsum in soil. *Soil Sci.*, 73:23-35, 1952.
- RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in Brazilian savannah Oxisol. *Agron. J.*, 72:40-44, 1980.
- RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E. & COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savannah Oxisols. *Soil Sci.*, 133:378-382, 1982.
- ROSOLÉM, C.A. & MACHADO, J.R. Efeitos da calagem e gessagem na produção de algodão e na lixiviação de bases em dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:103-109, 1984.
- RUIZ, H.A. Métodos de análises físicas do solo. Viçosa, UFV/DPS, 2004. 22p. (Notas de aula)
- RUIZ, H.A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 30. Recife, 2005. Anais. Recife, SCBS, 2005a. CD-ROM.

- RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005b.
- SANS, L.M.A. Estimativa do regime de umidade, pelo método de Newhall, de um Latossolo Vermelho-Escuro álico da região de Sete Lagoas, MG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 190p. (Tese de Doutorado)
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VITTI, G.C. & MALAVOLTA, G.W. Fosfogesso - Uso agrícola. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. Piracicaba, 1984. Trabalhos apresentados. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.161-195.
- VOGEL, A. Química analítica qualitativa. 5.ed. São Paulo, Mestre Jou, 1981. 665p.
- WADT, P.G.S. & WADT, L.H.O. Movimentação de cátions em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo incubadas com duas fontes de cálcio. Scientia Agr., 56:1157-1164, 1999.
- WEAST, R.C., ed. Handbook of chemistry and physics. 51. ed. Cleveland, EUA, Chemical Rubber, 1971. 2042p.
- ZAMBROSI, F.C.B. Calagem e gessagem na especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema de plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2004. 111p. (Tese de Mestrado)

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância da quantidade de cálcio, do pH e das quantidades de alumínio e enxofre no efluente nas lixiviações (L), considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					Total ^{1/}
		L1	L2	L3	L4	L5	
Cálcio							
Blocos	2	12.440	6.451		7.190	17.841	31.495
Solo	1	655.230**	39.134		2.375.476**	3.831.599**	16.167.660**
Fontes d/LA	7	12.069.090**	3.150.833**		5.445.391**	4.777.387**	5.217.085**
Fontes d/LV	7	9.631.982**	8.206.647**		3.194.116**	352.010**	125.350.100**
Resíduo	30	29.577	15.763		4.947	55.076	326.383
CV		22,06	21,32		11,29	53,12	18,87
pH							
Blocos	2	0,195			0,102	0,085	0,109
Solo	1	21,507**			14,520**	7,906**	18,974**
Fontes d/LA	7	0,170			0,450**	0,358**	0,152*
Fontes d/LV	7	1,765**			1,669**	1,343**	1,546**
Resíduo	30	0,107			0,109	0,106	0,058
CV		6,61			6,18	6,34	4,71
Alumínio							
Blocos	2		133,3		35,6	52,9	496,0
Solo	1		7.003,2**		579,3**	435,2**	226.804**
Fontes d/LA	7		118.572,3**		106.452,1**	3.561,2**	1.820.667**
Fontes d/LV	7		87.054,8**		38.681,0**	16.820,5**	1.656.089**
Resíduo	30		278,3		51,05	56,31	1.731,8
CV			21,38		16,39	23,58	11,43
Enxofre							
Blocos	2	0,906					
Solo	1	2,065*					
Fontes d/LA	7	48,271**					
Fontes d/LV	7	24,265**					
Resíduo	30	0,359					
CV		13,28					

^{1/} Valores calculados com a média ponderada para o pH.

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2A. Análise de variância das quantidades de potássio e magnésio e da condutividade elétrica no efluente nas lixiviações (L), considerando o solo e a fonte de cálcio utilizada

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		L1	L2	L3	L4	L5	Total ^{1/}
Potássio							
Blocos	2				0,122		
Solo	1				322,218**		
Fontes d/LA	7				96,468**		
Fontes d/LV	7				9,322**		
Resíduo	30				0,113		
CV					6,52		
Magnésio ^{2/}							
Blocos	2	5,50				9,43	
Solo	1	44.342,50**				3.409,16**	
Fontes d/LA	6	110,65				1.578,94**	
Fontes d/LV	6	78,52				13,66	
Resíduo	26	64,16				6,40	
CV		16,21				10,83	
Condutividade Elétrica							
Blocos	2	5.584	8.779	4.683	97	1.699	1.418
Solo	1	4.992.172**	160.522*	70.625	227.164**	258.001**	637.433**
Fontes d/LA	7	26.727.880**	6.518.685**	1.252.961**	1.388.710**	965.168**	3.051.918**
Fontes d/LV	7	19.043.240**	14.327.210**	9.152.031**	3.520.915**	1.162.771**	7.804.685**
Resíduo	30	55.400	37.867	17.797	1.504	1.365	1.290
CV		18,38	22,21	18,81	7,35	9,56	4,77

^{1/} Valores calculados com a média ponderada para a condutividade elétrica. ^{2/} Excluída a fonte Ca(NO₃)₂ por contaminação com magnésio.

*, **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 3A. Análise de variância da quantidade de cálcio, do pH, das quantidades de alumínio, enxofre, potássio e magnésio nas lixiviações (L), em amostras do Latossolo Amarelo, considerando a fonte de cálcio utilizada

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		L1	L2	L3	L4	L5	Total ^{1/}
Cálcio							
Blocos	2			323.553			
Fontes	7			1.028.492**			
Resíduo	14			173.849			
CV				71,75			
pH							
Blocos	2		0,001	0,002			
Fontes	7		0,099**	0,100**			
Resíduo	14		0,009	0,010			
CV			2,25	2,27			
Alumínio							
Blocos	2	1.444		810			
Fontes	7	859.166**		8.582**			
Resíduo	14	1.769		517			
CV		18,65		47,12			
Enxofre							
Blocos	2		1.612,27	279.859,0	11.475,16	10.732,51	525.180,90
Fontes	7		52.251,22**	1.795.123,00**	6.431.323,00**	4.943.397,00**	38.220.570,00**
Resíduo	14		3.774,17	255.131,80	7.390,86	14.751,14	404.660,60
CV			84,21	91,17	9,37	15,64	27,36
Potássio							
Blocos	2	1,525	8,956	1,778		0,327	18,691
Fontes	7	238,890**	92,405**	48,929**		54,233**	1.183,520**
Resíduo	14	0,978	5,148	6,455		0,220	19,694
CV		6,91	23,05	26,59		7,47	9,30
Magnésio ^{2/}							
Blocos	2		227,91	523,21	3,73		893,29
Fontes	6		2.377,39**	14.336,20**	9.174,35**		83.553,92**
Resíduo	12		289,70	2.213,28	30,58		3.339,98
CV			30,14	58,78	9,81		18,82

^{1/} Valores calculados com a média ponderada para o pH. ^{2/} Excluída a fonte Ca(NO₃)₂ por contaminação com magnésio.

** : Significativo a 1 % pelo teste F.

Quadro 4A. Análise de variância da quantidade de cálcio, do pH, das quantidades de alumínio, enxofre, potássio e magnésio nas lixiviações (L), em amostras do Latossolo Vermelho, considerando a fonte de cálcio utilizada

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio					
		L1	L2	L3	L4	L5	Total ^{1/}
Cálcio							
Blocos	2			23.281			
Fontes	7			8.108.377**			
Resíduo	14			20.638			
CV				23,67			
pH							
Blocos	2		0,350*	0,122			
Fontes	7		1,914**	1,804**			
Resíduo	14		0,079	0,144			
CV			4,77	6,50			
Alumínio							
Blocos	2	325		49			
Fontes	7	143.344**		82.301**			
Resíduo	14	296		63			
CV		20,69		12,35			
Enxofre							
Blocos	2		0,21	0,02	0,89	1,76	10,39
Fontes	7		35,09**	39,98	15,04**	6,40**	479,28**
Resíduo	14		1,68	23,75	1,76	0,51	26,19
CV			47,11	96,50	49,83	31,31	30,01
Potássio							
Blocos	2	0,008	0,264	0,060		0,064	1,590
Fontes	7	10,493**	14,414**	17,806**		5,055**	272,609**
Resíduo	14	0,038	0,052	0,058		0,034	0,379
CV		8,33	9,15	9,51		6,63	4,87
Magnésio ^{2/}							
Blocos	2		83,67	2,78	2,83		45,54
Fontes	6		53,86	4,69	8,75*		304,94
Resíduo	12		22,52	2,52	2,65		105,82
CV			28,90	13,29	12,63		14,18

^{1/} Valores calculados com a média ponderada para o pH. ^{2/} Excluída a fonte Ca(NO₃)₂ por contaminação com magnésio.

*, **: Significativo a 5 e 1 %, respectivamente, pelo teste F.