

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

MOBILIDADE DE CÁTIONS E CORREÇÃO DA ACIDEZ DE UM CAMBISSOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO COMBINADO COM SAIS DE POTÁSSIO⁽¹⁾

Lisandra Pinto Della Flora⁽²⁾, Paulo Roberto Ernani⁽³⁾ & Paulo Cesar Cassol⁽³⁾

RESUMO

A menor reatividade do calcário abaixo dos locais de aplicação deve-se principalmente à sua baixa solubilidade, ao aumento das cargas negativas nas camadas aplicadas devido ao aumento do pH e à pequena permanência dos ânions adicionados na solução do solo. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de ânions a partir de sais de K sobre a superfície do solo, no incremento da reatividade do calcário e na mobilidade de seus cátions em um Cambissolo Húmico. O experimento foi realizado em 2005, em solo com 360 g kg⁻¹ de argila, 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica e pH 4,1. Foram utilizadas três doses de calcário dolomítico (0, 0,74 e 1,48 kg m⁻²), combinadas com 40 g m⁻² de K, na forma de KCl ou de KNO₃, e com uma testemunha sem K, todos incorporados no primeiro centímetro da coluna do solo. As unidades experimentais (colunas de PVC com 10 x 30 cm, contendo 1,5 kg de solo) foram percoladas 21 vezes, a cada sete dias, com 300 mL de água destilada por semana, totalizando o equivalente a 800 mm de chuva. Os sais potássicos lixiviaram muito mais Ca e Mg do que o calcário. Na média dos três tratamentos de calagem, a adição dos sais aumentou a lixiviação total de Ca, Mg e K, respectivamente de 36 para 132 mg, de 5,8 para 26 mg e de 25 para 51 mg/coluna, relativamente ao tratamento sem adição de sal. Na ausência dos sais, a aplicação da maior dose de calcário dolomítico lixiviou apenas 5 mg de Ca e 1,2 mg/coluna de Mg, em relação ao tratamento sem calcário. A calagem superficial afetou o pH do solo e a concentração de Ca, Mg e Al trocável até a profundidade máxima de 5,0 cm, cujas alterações foram quase sempre proporcionais à dose aplicada, porém não foram influenciadas pela adição dos sais. A aplicação dos fertilizantes potássicos não influenciou a capacidade reativa do calcário aplicado na superfície do solo.

Termos de indexação: calagem superficial, cloreto de potássio, nitrato de potássio, lixiviação.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina – CAV/UEDESC. Recebido para publicação em novembro de 2006 e aprovado em junho de 2007.

⁽²⁾ Engenheira-Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo, Universidade do Estado de Santa Catarina – UEDESC. Av. Luis de Camões, 2090, Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: lisandra_pratica@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Curso de Agronomia, UEDESC. Bolsista do CNPq. E-mail: prernani@cav.udesc.br; a2pre@cav.udesc.br

SUMMARY: CATION MOBILITY AND ACIDITY DECREASE IN A HAPLUMBREPT DUE TO SURFACE LIMING COMBINED WITH POTASSIUM FERTILIZERS

The low reactivity of lime below the application layer is mainly due to its low solubility, to the increase in soil negative charge in the applied zones, and to the short permanence of anions of added anions in the soil solution. This study was carried out to evaluate the effect of anions added as potassium salts on increasing the reactivity of surface-applied limestone. The experiment was carried out in 2005 on a Haplumbrept (360 g kg⁻¹ clay, 60 g kg⁻¹ organic matter, and pH 4.1). Three rates of dolomitic lime (0, 0.74 and 1.48 kg m⁻²) were combined or not with 40 g m⁻² K as KCl or KNO₃, all mixed with the top one centimeter of the soil. The experimental units (10 x 30 cm PVC columns containing 1.5 kg soil) were percolated 21 times at weekly intervals with 300 mL distilled water, totalizing a volume equivalent to 800 mm rain. Potassium salts leached much more Ca and Mg than lime. Averaged across liming treatments, the salts increased total leaching from 36 - 136 mg for Ca, 5.8 - 26 mg for Mg, and 25 - 51 mg/column for K compared to the treatment without salts. In the absence of salts, the highest limestone rate resulted in leaching of only 5 mg Ca and 1.2 mg/column of Mg. Surface liming affected soil pH and exchangeable Ca, Mg and Al down to a maximum depth of 5.0 cm. These soil modifications were almost always proportional to the applied dose, but were not influenced by K salts. Potassium fertilizers had no influence on the reactivity of surface liming.

Index terms: surface liming, potassium chloride, potassium nitrate, leaching.

INTRODUÇÃO

Os solos catarinenses são naturalmente muito ácidos (Ernani & Almeida, 1986); como consequência, o Al e o Mn existem em quantidades fitotóxicas e a disponibilidade de alguns nutrientes é baixa, principalmente de P, com prejuízos para o rendimento da maioria das espécies vegetais. A correção da acidez dos solos pela aplicação de calcário é, portanto, uma prática indispensável para que esses efeitos sejam minimizados e as culturas possam expressar o seu potencial produtivo.

Como os calcários agrícolas possuem baixa solubilidade, recomenda-se incorporá-los ao solo para aumentar a reatividade. Quando a calagem é realizada sobre a superfície do solo, a exemplo do que acontece no sistema plantio direto, seus efeitos na correção da acidez e na alteração de outros atributos (neutralização do Al e aumento de Ca e de Mg no perfil) normalmente se restringem a poucos centímetros abaixo da superfície (Pottker & Ben, 1998; Ernani et al., 2001; Amaral et al., 2004a; Alleoni et al., 2005; Caires et al., 2006), principalmente em solos com alto tamponamento (De Maria, 1993; Ernani et al., 2001). Em solos com poder-tampão baixo ou médio, entretanto, a aplicação de calcário sobre a superfície do solo tem melhorado o ambiente radicular (Leite et al., 2006), com incrementos em alguns atributos químicos até profundidades iguais ou maiores que 20 cm (Leite et al., 2006) e algumas vezes até 40 cm ou mais (Quaggio et al., 1982; Caires et al., 1998), sem, contudo, modificar suas condições físicas

(Mielniczuk et al., 1995). A magnitude desses efeitos varia com o tipo de solo, com a dose de calcário (Petrere & Anghinoni, 2001; Fidalski & Tormena, 2005; Leite et al., 2006), com o período transcorrido após a calagem (Rheinheimer et al., 2000; Fidalski & Tormena, 2005; Caires et al., 2006), com a quantidade de resíduos vegetais acumulados na superfície (Pikul & Allmaras, 1986) e com o sistema de manejo do solo.

Acredita-se que a ação benéfica da calagem superficial sobre os atributos do solo bem abaixo dos locais de aplicação ocorre devido à combinação de vários fatores, dentre os quais a formação de canais contínuos e profundos originados da morte das raízes e da atividade da microbiota (minhocas e corós), à associação de metais com compostos orgânicos hidrossolúveis liberados pela decomposição das plantas usadas na cobertura de solo (Franchini et al., 2001) e à mobilidade de partículas finas de calcário (Amaral et al., 2004a). Como as características físicas e químicas variam muito entre os solos e sobretudo com as condições de cultivo e de manejo, a importância relativa de cada um desses fatores também varia bastante.

Além da elevação do pH, muitas vezes pretende-se, com a calagem, elevar os teores de Ca e Mg no perfil até 40 cm de profundidade ou mesmo mais, não somente para aumentar a disponibilidade desses cátions às plantas, mas também para diminuir a toxicidade causada pelo Al³⁺. Os cátions integrantes do calcário, entretanto, se movimentam muito pouco no perfil do solo, porque seus ânions acompanhantes (carbonatos, bicarbonatos, óxidos ou hidróxidos)

permanecem por muito pouco tempo na solução do solo, uma vez que reagem rapidamente com os ácidos (H^+ + Al). Com isso, a maior parte desses cátions migra para as cargas negativas que são criadas pelo aumento do pH (De Maria, 1993; Ernani et al., 2001) ou desobstruídas pela precipitação do Al^{3+} .

A adição de sais neutros, diferentemente do calcário, promove a descida rápida de cátions e ânions no solo (Ernani, 1986; Silva et al., 1998), porque não altera significativamente o número de cargas elétricas e mantém parte desses íons na solução do solo (Ernani et al., 2006). O gesso agrícola ($CaSO_4$) tem sido o sal mais usado com o objetivo principal de aumentar a concentração de Ca e SO_4^{2-} em profundidade (Ernani, 1986; Ernani & Barber, 1993; Silva et al., 1998; Ernani et al., 2001). Esse fenômeno também pode ser conseguido por meio da utilização de outros fertilizantes, de uso mais comum do que o gesso na agricultura. Ernani et al. (2003) aplicaram KCl em doses de até 200 mg kg^{-1} de K a dois solos catarinenses e constataram que nesta dose a concentração de K no efluente da primeira percolação aumentou em até quatro vezes, e a de Ca e Mg , em até 70 %. Assim, a adição de sais neutros sobre a superfície do solo, juntamente com os corretivos da acidez, pode aumentar a mobilidade descendente de Ca e Mg no perfil, por manter parte de seus ânions na solução do solo e, com isso, aumentar a dissolução do calcário.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adição de ânions provenientes de fertilizantes potássicos na reatividade do calcário dolomítico e na mobilidade vertical de seus cátions, quando aplicados sobre a superfície de um Cambissolo Húmico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em laboratório, no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), em Lages, SC, em 2005, sem ajuste artificial da umidade relativa e da temperatura ambiente. Foram utilizadas amostras de um Cambissolo Húmico alumínico (CHa), coletadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, em área de vegetação campestre nativa com predomínio de espécies gramíneas, no município de Lages. Após a coleta, as amostras foram passadas em peneira com malha de 0,5 cm. Elas apresentavam $pH-H_2O = 4,1$, $Al^{3+} = 7,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $Ca^{2+} = 0,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $Mg^{2+} = 0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, P (Mehlich-1) = $1,8 \text{ mg kg}^{-1}$, K (Mehlich-1) = 58 mg kg^{-1} , argila = 360 g kg^{-1} e matéria orgânica = 60 g kg^{-1} .

As unidades experimentais foram constituídas por colunas de lixiviação, confeccionadas a partir de tubos de PVC com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro, preenchidas com solo. A base das colunas foi hermeticamente vedada com tampa de PVC. Na parte central desta foi feito um orifício com 3 mm de

diâmetro, para permitir a drenagem da solução percolada, sobre o qual, internamente, foi colocada tela plástica com malha de 1 mm de abertura, a fim de evitar a passagem de solo. Cada coluna foi envolta com um funil plástico flexível, confeccionado a partir de sacos plásticos transparentes, para evitar a perda de efluente e direcionar a solução percolada para os frascos de coleta, localizados abaixo delas. Em cada coluna, foi adicionado 1,50 kg de solo (base seca, $105^\circ C$), perfazendo uma camada de 25 cm, num volume de $1,9 \text{ dm}^3$. Os 5 cm da parte superior de cada coluna não foram preenchidos com solo, a fim de facilitar a adição da água por ocasião das percolações. Uma folha de papel-filtro foi colocada sobre a superfície do solo, para permitir a distribuição uniforme da água.

Os tratamentos consistiram de um fatorial 3×3 , com doses de calcário (0, 0,74 e $1,48 \text{ kg m}^{-2}$) e sais potássicos (sem sal, KCl ou KNO_3). As quantidades de calcário utilizadas (0, 5,5 e $11,0 \text{ g/coluna}$) equivaleram a um terço e dois terços da dose recomendada pelo método SMP para elevar o pH do solo da camada de 0 a 20 cm para 6,0, que foi de 20 t ha^{-1} (PRNT 100 %). O corretivo da acidez foi produzido em laboratório pela mistura de $CaCO_3$ e $MgCO_3$ na relação $Ca:Mg$ de 3:1. Foram utilizados reagentes pró-análise, previamente passados em peneira com abertura de 0,054 mm. Os sais potássicos (KCl e KNO_3) foram adicionados nas quantidades, respectivamente, de 630 e 860 mg por coluna (330 mg de K), equivalendo a uma dose de 40 g m^{-2} de K , com o objetivo de simular a concentração que ocorre próximo dos grânulos de fertilizantes no solo. Com o objetivo de evitar a formação de crostas calcárias na superfície do solo, os sais potássicos e o corretivo da acidez foram misturados manualmente e homogeneizados com 60 g de solo (base seca), cujo volume foi depositado na parte superficial de cada coluna e correspondeu a uma camada com 1,0 cm de espessura. Foram utilizadas três repetições por tratamento.

Após serem preenchidas com solo, as colunas foram acondicionadas verticalmente em suportes plásticos, cuja base ficou 20 cm acima da superfície de um balcão. As percolações iniciaram-se uma semana após a transferência do solo para as colunas. Elas foram repetidas a cada sete dias, durante 21 semanas. Em cada percolação, adicionaram-se 300 mL de água destilada sobre a superfície de cada coluna, na velocidade de 5 mL min^{-1} . A solução percolada foi coletada no dia seguinte, para determinação do volume, do pH e das concentrações de Ca , Mg e K . O pH foi determinado por meio de potenciometria; o Ca e o Mg , por espectrofotometria de absorção atômica; e o K , por espectrofotometria de emissão, todos conforme método descrito por Tedesco et al. (1995).

Ao término das 21 percolações, as unidades experimentais foram congeladas num freezer, para facilitar a separação do solo em diferentes camadas. Posteriormente, os tubos de PVC foram cortados

verticalmente numa das extremidades, com serra elétrica manual, para retirada das colunas de solo. A seguir, o solo foi separado, por meio de uma serra manual, nas profundidades de 0–2,5; 2,5–5,0; 5,0–7,5; 7,5–10,0; 10,0–15,0; 15,0–20,0; e 20,0–25,0 cm. As amostras de solo secas inicialmente em temperatura ambiente, durante 10 dias, e posteriormente em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, durante três dias. Nelas, foram determinados os valores de pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ e as concentrações de Ca, Mg, K e Al trocáveis. Os teores de Ca, Mg e Al foram extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, e o K, com Mehlich-1. Esses cátions foram determinados pelos mesmos procedimentos usados para quantificá-los nas soluções percoladas; o Al trocável foi determinado por meio de titulação com NaOH.

Os resultados das quantidades totais de cada nutriente lixiviadas nas 21 percolações de água foram submetidas à análise da variância (ANOVA), considerando o delineamento de blocos casualizados. Quando houve significância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Cada atributo na fase sólida do solo foi avaliado também pela ANOVA, porém considerando a profundidade como a subparcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de Ca e de Mg lixiviadas após as 21 percolações de água destilada tiveram aumento muito pequeno em decorrência da aplicação do corretivo

da acidez sobre a superfície do solo (Figura 1). Na média dos tratamentos do fator sal, o Ca lixiviado aumentou de 95 mg/coluna, onde não foi aplicado calcário, para 100 mg/coluna na média dos tratamentos com calagem, enquanto o Mg aumentou de 15,3 para 21,6 mg/coluna, respectivamente. Aproximadamente só 0,3 % do Ca e 0,8 % do Mg aplicados pela menor dose de calcário sobre a superfície do solo lixiviam da coluna de solo com 25 cm de espessura, após subtrair as quantidades lixiviadas do tratamento sem calcário. Esse pequeno incremento proporcionado na lixiviação de Ca e Mg pela calagem é consequência da baixa solubilidade do calcário, do aumento das cargas elétricas negativas do solo decorrente da elevação do pH na zona de aplicação (Albuquerque et al., 2003) e da baixa permanência na solução do solo dos ânions adicionados pela calagem. Ernani et al. (2001) encontraram quantidades lixiviadas maiores do que essas quando o calcário foi incorporado ao solo, mesmo sem a adição de sais, devido ao maior contato do corretivo com o solo, provocado pela incorporação, e à menor distância a ser percorrida pelo efluente dentro da camada de solo sem calcário.

A aplicação dos sais potássicos lixiviou muito mais Ca e Mg do que a calagem (Figura 1). Na média das doses de calcário (0, 0,74 e 1,48 kg m⁻²), o Ca lixiviado aumentou de 36 mg/coluna, onde não foi aplicado nenhum sal, para 132 mg/coluna na média dos dois sais, enquanto a lixiviação de Mg aumentou de 5,8 para 26 mg/coluna, respectivamente. A mobilidade descendente desses cátions ocasionada pelos fertilizantes potássicos ocorreu porque eles foram deslocados das cargas elétricas negativas do solo pelo

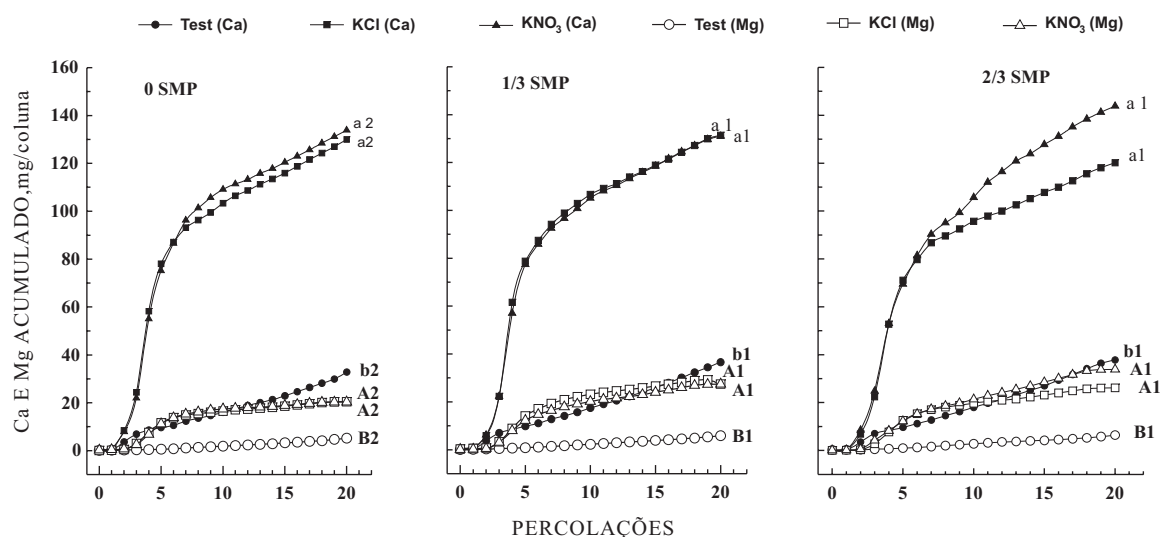


Figura 1. Quantidades de cálcio e magnésio percoladas em função da adição de doses de calcário (0, 1/3 e 2/3 da recomendação do método SMP para pH-H₂O 6,0) combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Médias seguidas pela mesma letra ou número não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %; letras maiúsculas comparam os teores de Mg e letras minúsculas comparam os teores de Ca dentro de cada dose de calcário; números comparam o efeito dos sais entre as doses de calcário.

K adicionado, que teve sua atividade aumentada na solução do solo (Ernani & Barber, 1993). Esse incremento em profundidade não significa, entretanto, que a adição dos sais irá aumentar a disponibilidade desses dois nutrientes para as plantas indefinidamente, uma vez que o aumento da concentração deles na solução do solo é temporário (Ernani et al., 2001). Apesar disso, pode ser importante para algumas espécies, pois coincide com o período inicial de crescimento e desenvolvimento das plantas, em que elas podem absorver e acumular os nutrientes do solo com mais eficiência. Além disso, a grande mobilidade de Ca e de Mg promovida pelos sais de K – que aumentaram em até 3,6 a lixiviação de Ca e em até 4,5 vezes a de Mg – mostra que o fluxo preferencial de líquidos em colunas de solo, uma preocupação constante dos pesquisadores, caso tenha acontecido, foi de pequena magnitude.

As quantidades de K percoladas diferiram entre as doses do corretivo da acidez (Figura 2). A maior percolação de K ocorreu na ausência de calcário e correspondeu a 55 mg/coluna, na média dos dois sais. A adição da maior dose do calcário dolomítico ($1,48 \text{ kg m}^{-2}$) diminuiu a quantidade total percolada de K para 51 mg/coluna. Essa diminuição foi também observada por outros autores (Soprano & Alvarez V., 1989; Chaves & Libardi, 1995; Ernani et al., 2003) e se deve ao aumento de cargas elétricas negativas em decorrência da elevação do pH na camada mais superficial do solo (Albuquerque et al., 2003), para as quais parte do K migrou (De Maria et al., 1993; Ernani et al., 2003). A magnitude da diminuição na mobilidade de K promovida pela calagem é proporcional à espessura da camada corrigida em função do maior incremento nas cargas elétricas negativas.

A lixiviação de K aumentou com a adição dos sais potássicos, e não houve diferença entre os ânions

acompanhantes (Figura 2). A quantidade total de K percolada aumentou de 25 mg/coluna, no tratamento sem sal, para 51 mg/coluna na média dos tratamentos onde foi aplicado KCl e KNO_3 , e isso ocorreu porque a aplicação dos fertilizantes potássicos aumenta a concentração de K na solução (Ernani & Barber, 1993; Ernani et al., 2007), favorecendo o deslocamento vertical do nutriente com o fluxo descendente de água.

O comportamento das curvas de lixiviação de K ao longo das adições de água não foi afetado pela adição dos sais ou do corretivo da acidez sobre a superfície do solo (Figura 2). Nos tratamentos em que não foi aplicado K, a concentração máxima de K lixiviada foi de 5 mg L^{-1} , ao passo que na média dos tratamentos com os fertilizantes a concentração de K no efluente atingiu 22 mg L^{-1} entre a quinta e a sexta percolação. Apesar de a mobilidade do K ter sido relativamente rápida e a concentração no efluente ter aumentado até cinco vezes relativamente à testemunha, a quantidade total de K que saiu da coluna foi sempre inferior a 9 % do K aplicado pelos fertilizantes, após subtração da quantidade lixiviada do tratamento sem K. Nas últimas oito percolações, a concentração de K no efluente diminuiu para aproximadamente 3 mg L^{-1} , independentemente da adição ou não dos adubos potássicos (Figura 2).

O pH da solução percolada não foi afetado pela aplicação do corretivo da acidez, porém diminuiu pela adição dos sais potássicos (dados não mostrados). É importante ressaltar que as doses de calcário foram aplicadas na superfície do solo, com incorporação de 1 cm apenas. Assim, a solução que percolou pelas colunas nos tratamentos que receberam calcário passou inicialmente por uma camada de solo com altos valores de pH, porém pouco espessa (inferior a 5 cm), e a seguir por uma outra, com pH baixo e muito Al trocável, porém bastante espessa. Ernani et al. (2004)

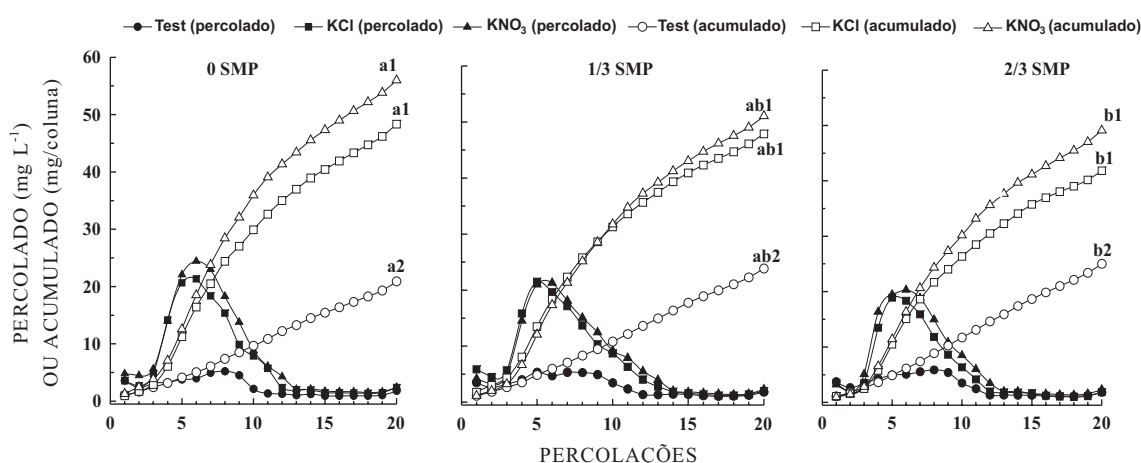


Figura 2. Concentração de potássio percolado e acumulado em função da adição de doses de calcário (0, 1/3 e 2/3 da recomendação do método SMP para pH-H₂O 6,0) combinadas com sais de potássio aplicados na superfície de um Cambissolo Húmico. Médias acumuladas seguidas pela mesma letra ou número não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %; letras comparam os sais entre as doses de calcário, e números comparam os sais dentro de cada dose de calcário.

verificaram que a adição de calcário a um solo ácido diminuiu o pH da solução que percolou inicialmente pela camada com acidez corrigida e, a seguir, mais abaixo, pela camada de solo que continha Al trocável. Segundo esses autores, o Ca e o Mg adicionados pelo calcário migraram no solo até onde havia Al trocável, e deslocaram o Al^{3+} das cargas negativas, o qual, ao hidrolisar, liberou H^+ e diminuiu o pH do efluente. No presente trabalho, os sais potássicos diminuíram o pH da solução percolada de 4,8 para 3,7 devido ao deslocamento do Al^{3+} pelo K^+ (Ernani & Barber, 1993; Ernani et al., 2003), sem efeito do ânion acompanhante.

A adição do corretivo da acidez sobre a superfície do solo aumentou o Ca e o Mg trocáveis somente nos centímetros superficiais, até um máximo de 5 cm, proporcionalmente à dose aplicada (Figura 3). Na ausência da calagem, as concentrações de Ca e Mg não variaram em todo o perfil, e as médias foram de 0,3 e 0,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. A aplicação superficial de um terço da dose do corretivo recomendada pelo índice SMP para elevar o pH a 6,0 aumentou o Ca e o Mg trocáveis somente na camada de 0–2,5 cm, para, respectivamente, 16 e 3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na média do fator sal, diferindo da maior dose (2/3-SMP), na qual os valores médios atingiram 25 e 5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Na maior dose de calcário, o Ca aumentou também só até 2,5 cm, porém o Mg se deslocou até a profundidade média de 5 cm.

A pequena mobilidade de Ca e de Mg deve-se à baixa solubilidade do corretivo, que, ao entrar em contato com pequeno volume de solo, tem sua dissociação dificultada. Além disso, o aumento das cargas elétricas negativas decorrentes da elevação do pH na camada mais superficial e a reatividade dos ânions do calcário com os ácidos do solo contribuem para a baixa mobilidade de seus cátions. Mobilidades de Ca e Mg maiores do que essas, até 10 cm de profundidade, foram encontradas por Rheinheimer et al. (2000) após adição de calcário sobre a superfície do solo, em experimento de longa duração, e por Quaggio et al. (1982), em cujo estudo esses cátions atingiram até 40 cm quando o corretivo foi incorporado ao solo, junto com KCl. As diferenças nas mobilidades dos cátions integrantes do calcário entre diferentes experimentos se devem principalmente à variabilidade no poder-tampão dos solos, aliada à dose de calcário e ao tempo de duração dos estudos. A adição de ânions ao sistema pelos sais potássicos não influenciou a descida do Ca ou do Mg oriundos do calcário.

A adição de corretivo de acidez sobre a superfície do solo diminuiu o Al trocável e aumentou o pH somente nos centímetros superficiais do solo, não tendo havido diferença entre as duas doses (Figura 4). Na ausência de calcário, a concentração média de Al^{3+} em toda a espessura da coluna foi de 6,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, enquanto o pH- CaCl_2 foi de 3,8. A aplicação superficial do calcário diminuiu o Al^{3+} até 5 cm, porém aumentou

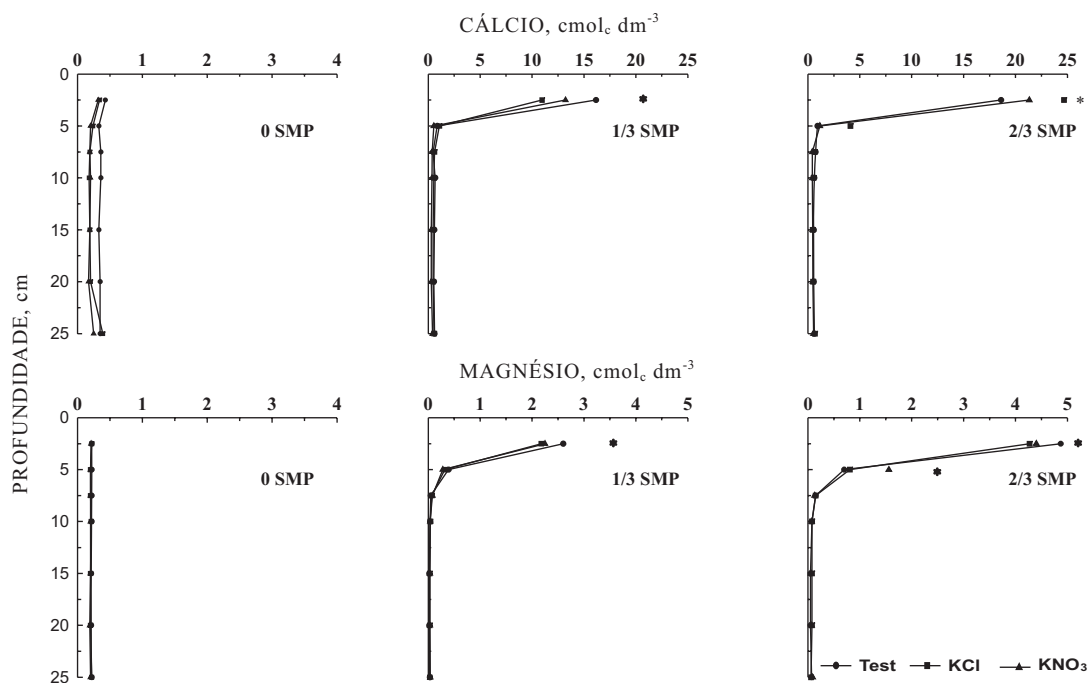


Figura 3. Concentração de cálcio e magnésio trocáveis em colunas de um Cambissolo Húmico, em diferentes profundidades, devido à aplicação superficial de doses de calcário (0, 1/3 e 2/3 da recomendação do método SMP para $\text{pH-H}_2\text{O}$ 6,0) combinadas com sais de potássio, após 21 adições de água. Presença de * significa diferença estatística entre a média dos sais potássicos dessa profundidade, em relação à média das demais profundidades, dentro da mesma dose de calcário.

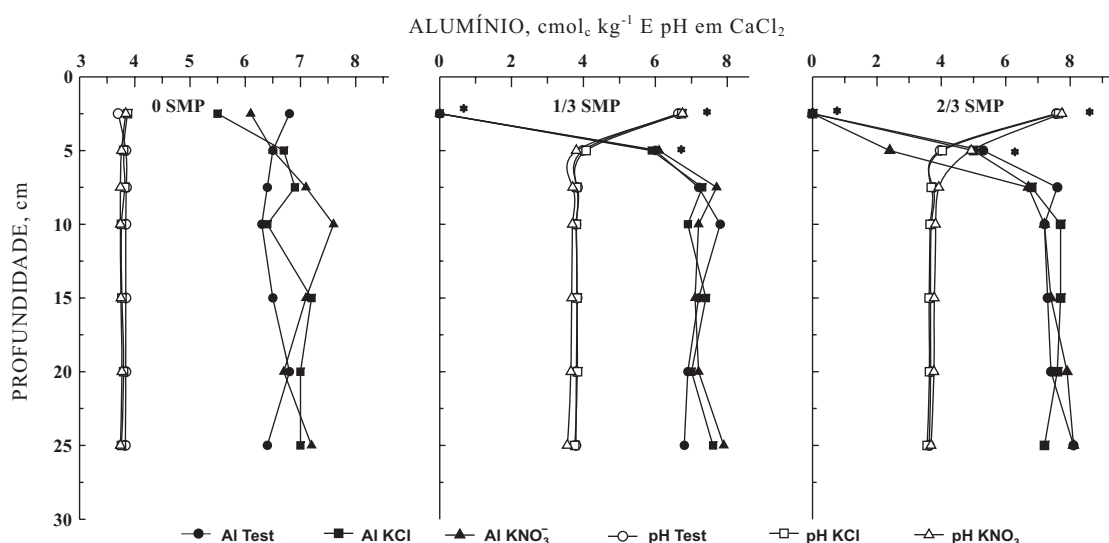


Figura 4. Valores de alumínio trocável e de pH- CaCl_2 em colunas de um Cambissolo Húmico, em diferentes profundidades, devido à aplicação superficial de doses de calcário (0, 1/3 e 2/3 da recomendação do método SMP para pH- H_2O 6,0) combinadas com sais de potássio, após 21 adições de água. Presença de * ao lado da profundidade de cada atributo significa diferença estatística para a média dos sais de potássio dessa profundidade, em relação às médias das profundidades sem a existência de *, dentro da mesma dose de calcário.

o pH somente até 2,5 cm, independentemente da aplicação ou não dos sais potássicos (Figura 4). Essa baixa reatividade do calcário abaixo dos locais de aplicação também foi encontrada por vários autores em solos da região Sul do Brasil (Pottker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Ernani et al., 2001; Amaral et al., 2004a; Alleoni et al., 2005). Em algumas situações, entretanto, a elevação do pH tem acontecido até camadas bem abaixo daquelas onde o calcário é aplicado (Quaggio et al., 1982; Leite et al., 2006), provavelmente devido ao baixo tamponamento dos solos utilizados. Apesar de a adição dos fertilizantes potássicos ter aumentado a lixiviação de Ca e de Mg, esses adubos não influenciaram o pH e o Al^{3+} em nenhuma profundidade (Figura 4).

A magnitude das modificações nos atributos químicos do solo decorrentes da aplicação superficial de calcário encontradas neste experimento é semelhante às observadas por autores que trabalharam com calagem em superfície em experimentos de campo (Pottker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Amaral & Anghinoni, 2001; Alleoni et al., 2005; Caires et al., 2006). Nesses trabalhos, as doses de calcário variaram de 0,7 a 17 Mg ha^{-1} , com tempo de reação de até cinco anos, e as profundidades afetadas variaram até 2,5 cm para pH e Al^{3+} , e até 12,5 cm para Ca^{2+} e Mg^{2+} . Amaral et al. (2004b), por sua vez, encontraram partículas finas de calcário até 20 cm de profundidade e atribuíram o aumento de Ca^{2+} e Mg^{2+} na subsuperfície do solo ao movimento vertical dessas partículas. Várias explicações têm sido atribuídas ao efeito progressivo da frente de neutralização ocasionada pela aplicação

de calcário sobre a superfície, sem incorporação ao solo. Elas incluem a associação de metais com compostos orgânicos hidrossolúveis liberados pela decomposição vegetal (Franchini et al., 1999, 2001), o deslocamento de ânions resultantes da reação do calcário (Amaral & Anghinoni, 2001; Ernani et al., 2001) e a migração de partículas finas de calcário (Petrere & Anghinoni, 2001; Amaral et al., 2004b). A importância relativa de cada uma dessas reações, entretanto, varia com a dose aplicada (Rheinheimer et al., 2000; Leite et al., 2006), com o tempo de reação (Caires et al., 2006), com o regime pluviométrico e com as características físicas e químicas dos solos (Caires et al., 1998; Rheinheimer et al., 2000; Amaral & Anghinoni, 2001; Albuquerque et al., 2003).

CONCLUSÕES

1. A movimentação vertical descendente de Ca e de Mg em um Cambissolo Húmico foi muito maior pela adição de 40 g m^{-2} de K, na forma de KCl ou de KNO_3 , do que pela aplicação de até 1,48 kg m^{-2} de calcário dolomítico. O incremento na lixiviação promovido pelos sais foi de 3,7 vezes para Ca e de 4,5 vezes para Mg, porém, nos tratamentos com calagem, foi de apenas 2 % para o Ca e de até 45 % para o Mg.

2. A adição dos fertilizantes potássicos não influenciou a reatividade da calagem superficial, a qual afetou os atributos químicos de solo (pH, Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+}) somente até a profundidade de 2,5 ou 5,0 cm.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; MAFRA, A.L. & FONTANA, E.C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. R. Bras. Ci. Solo, 27:799-806, 2003.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. & CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de Cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. R. Bras. Ci. Solo, 29:923-934, 2005.
- AMARAL, A.S. & ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 36:695-702, 2001.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F.C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:115-123, 2004a.
- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. & BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:359-367, 2004b.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F. & CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 30:87-98, 2006.
- CAIRES, F.E.; CHVEIRI, A.W.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 22:27-34, 1998.
- CHAVES, L.H.G. & LIBARDI, P.L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. R. Bras. Ci. Solo, 19:145-148, 1995.
- DE MARIA, I.C.; ROSSETO, R.; AMBROSANO, E.J. & DE CASTRO, O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. Sci. Agric., 50:87-98, 1993.
- ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F.R. & NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, 2003. CD ROOM
- ERNANI, P.R. & ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, 10:43-150, 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.. Alterações em algumas características químicas da 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.; BAYER, C. & RIBEIRO, M.F.S. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 35:889-901, 2004.
- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A. & CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. R. Bras. Ci. Solo, 31: 393-402, 2007.
- ERNANI, P.R.; RIBEIRO M.F.S. & BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. Sci. Agric., 58:825-831, 2001.
- FIDALSKI, J. & TORMENA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 29:235-247, 2005.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. R. Bras. Ci. Solo, 23:533-542, 1999.
- FRANCHINI, J.C.; MEDA, A.R. & CASSIOLATO, M.E. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. Sci Agric., 58:357-360, 2001.
- LEITE, G.H.M.N.; ELTZ, F.L.P.; AMADO, T.J.C. & COGO, N.P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. R. Bras. Ci. Solo, 30:685-693, 2006.
- MIELNICZUK, J.; BURLE, M. & FERNANDES, S.V. Eficiência da aplicação de calcário em sistemas de culturas e preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, MG, 1995. Resumos. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.1848-1850, 1995.
- PETRERE, C. & ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. R. Bras. Ci. Solo, 25:885-895, 2001.
- PIKUL, J.L. & ALLMARAS, R.R. Physical and chemical properties of a Haploxeroll after fifty years residue management. Soil Sci. Soc. Am. J., 50:214-219, 1986.
- PÖTTKER, 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. van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. R. Bras. Ci. Solo, 6:189-194, 1982.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. Ci. Rural, 30:263-268, 2000.
- SILVA, A.A.; VALE, F.R.; FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E. & MUNIZ, J.A. Efeitos das relações $CaSO_4/CaCO_3$ na mobilidade de nutrientes no solo e no crescimento do algodoeiro. R. Bras. Ci. Solo, 22:451-457, 1998.
- SOPRANO, E. & ALVAREZ V., V.H. Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratadas com diferentes sais de cálcio. R. Bras. Ci. Solo, 13:25-29, 1989.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 188p. (Boletim Técnico, 5)