

# MANEJO DA CALAGEM E OS COMPONENTES DA ACIDEZ DE LATOSSOLO BRUNO EM PLANTIO DIRETO<sup>(1)</sup>

M. N. CIOTTA<sup>(2)</sup>, C. BAYER<sup>(3,6)</sup>, P. R. ERNANI<sup>(4,6)</sup>,  
S. M. V. FONTOURA<sup>(5)</sup>, C. WOBETO<sup>(5)</sup> & J. A. ALBUQUERQUE<sup>(4)</sup>

## RESUMO

A viabilidade da aplicação de calcário sobre a superfície de solos em plantio direto e seu efeito na acidez em subsuperfície são pouco conhecidos. O presente estudo foi realizado em experimento de longa duração (21 anos), instalado, em 1978, em Guarapuava (PR), e teve por objetivo avaliar o efeito do método de reaplicação de calcário nos componentes da acidez das fases sólida e líquida de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto. Os tratamentos avaliados foram: sem calcário, calcário incorporado por uma lavração e duas gradagens e calcário aplicado sobre a superfície do solo, sem incorporação. Reaplicações de calcário foram realizadas em 1987 e 1995 nas doses de 4,5 e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, respectivamente. A amostragem de solo foi feita manualmente, em abril de 1999, em nove camadas até 0,4 m de profundidade. A reaplicação de calcário promoveu melhoria no ambiente químico do solo em plantio direto, evidenciada pela elevação do pH em água, dos teores de Ca e Mg trocáveis e em solução, da saturação por bases, bem como pela diminuição dos teores de Al trocável. A aplicação de calcário sobre a superfície do solo em plantio direto foi eficiente na elevação do pH na camada de 0-0,15 m e na elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis e da saturação por bases, bem como na diminuição dos teores de Al trocável na camada de 0-0,20 m, não diferindo do tratamento com incorporação de calcário ao solo. A eficiência da calagem superficial na correção da acidez da camada arável do solo constitui importante indicativo da viabilidade desta prática em solos sob plantio direto de longa duração.

**Termos de indexação: cátions trocáveis; toxidez de Al; saturação por bases; manejo conservacionista.**

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado, apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Recebido para publicação em fevereiro de 2002 e aprovado em dezembro de 2003.

<sup>(2)</sup> Extensionista da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI. CEP 88570-000 São José do Cerrito (SC).

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 1510, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2pre@cav.udesc.br; a2ja@cav.udesc.br

<sup>(5)</sup> Pesquisador da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA. CEP 85108-000 Guarapuava (PR). E-mail: sandrav@agraria.com.br; wobeto@agraria.com.br

<sup>(6)</sup> Bolsista do CNPq.

**SUMMARY:** *LIMING MANAGEMENT AND ITS EFFECT ON ACIDITY COMPONENTS OF AN OXISOL UNDER NO-TILLAGE*

*The effect of surface liming on acidity components in the soil profile under long-term no-tillage system is largely unknown. This study was carried out in a long-term experiment (21 years) initiated in 1978 on a Brown Latosol (Haplohumox) located in Guarapuava County, Paraná State, South of Brazil. The aim was to evaluate the effect of lime reapplication methods on soil acidity attributes of both solid and liquid phases. Treatments consisted of: no liming, lime broadcast over the soil surface with no incorporation and lime applied on the soil surface followed by incorporation into the soil through plowing and double disking. Lime was reapplied twice, in 1987 and in 1995, at rates of 4.5 and 3.0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively. Soil samples were collected manually in April 1999, at nine soil layers up to a depth of 0.40 m. Lime reapplication improved the chemical environment of the soil under no-tillage, as evidenced by increases in water pH, exchangeable and soluble forms of Ca and Mg, base saturation in the cation exchange sites and by a decrease in exchangeable Al. The application of lime on soil surface followed by no incorporation was efficient in increasing soil pH up to a 0.15 m depth and increased exchangeable and soluble Ca and Mg and base saturation and reduced exchangeable Al in the 0-0.20 m layer. These effects were similar to those in the treatment with lime incorporation. The effectiveness of surface liming on soil acidity correction in the subsurface soil layer show that this practice is technically viable in soils under no-tillage for a long period.*

*Index terms: exchangeable cations; Al toxicity; bases saturation; conservation management systems.*

## INTRODUÇÃO

Os solos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. A calagem, portanto, tem sido intensivamente utilizada pelos produtores porque aumenta o rendimento da maioria das culturas (Ernani et al., 1998; 2000). Em solos agrícolas, o uso de fertilizantes de reação ácida (Ciotta et al., 2002), associado à lixiviação de N em formas nítricas e à remoção de bases na colheita (Helyar, 1976), acelera o processo de acidificação do solo, tornando necessária a reaplicação de calcário.

A calagem aumenta rapidamente os valores de pH, Ca, Mg e CTC efetiva na camada na qual o calcário é incorporado (Cassol, 1995; Amaral, 1998). Por sua vez, sua influência nos estoques de matéria orgânica do solo será dependente do balanço do seu efeito na oxidação microbiana do C orgânico do solo e na adição de resíduos vegetais pelas culturas (Bayer & Mielniczuk, 1999).

Em sistemas de cultivo em plantio direto, os produtores, normalmente, evitam a mobilização do solo com vistas em preservar as características físicas desejáveis, como a continuidade de macroporos (Pierce et al., 1994), agregação (Silva & Mielniczuk, 1998), proteção física da matéria orgânica (Bayer et al., 2000), em adição a eliminação de custos adicionais com arações e gradagens. Nesses casos, o calcário é aplicado sobre a superfície do solo, sem incorporação. A ausência de incorporação do calcário diminui a superfície de contato entre as partículas de solo e as

do corretivo, retardando os efeitos da calagem e restringindo as reações aos centímetros superficiais do solo (Cassol, 1995). Por outro lado, em plantio direto, a acidificação é mais intensa na superfície do solo (Ciotta et al., 2002). Sendo assim, a aplicação superficial de calcário, ao promover a formação de uma frente de alcalinização descendente a partir da superfície, minimiza a acidificação onde esta é mais intensa (Amaral, 1998).

Além disso, as alterações nas condições químicas, físicas e biológicas do solo em plantio direto influenciam a dinâmica do sistema, promovendo uma resposta diferenciada à calagem superficial. Os compostos orgânicos que acumulam na superfície do solo podem complexar parte do Al tóxico (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999), amenizando os efeitos da acidificação superficial. A contínua liberação de compostos orgânicos na superfície do solo, oriundos da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais, pode formar complexos orgânicos hidrossolúveis entre Ca e Mg com ligantes orgânicos (Miyazawa et al., 1993), o que facilita a descida desses cátions no perfil do solo (Oliveira & Pavan, 1996; Franchini et al., 1999). A formação e a migração de Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> e Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> para camadas mais profundas, bem como a formação de sais solúveis de nitrato, percolados pelo movimento descendente da água, também podem explicar o efeito benéfico da calagem superficial sobre o desenvolvimento das plantas (Caires et al., 2000).

O efeito da calagem superficial na correção da acidez, na neutralização do Al e no aumento de

cátions básicos no perfil do solo cultivado em plantio direto depende de tipo de solo, dose de calcário, período transcorrido após a calagem, conteúdo de matéria orgânica do solo e quantidade de resíduos vegetais acumulados na superfície (Pikul & Allmaras, 1986). Graças ao rápido equilíbrio entre as fases (sólida e líquida) do solo, os efeitos da calagem manifestam-se rapidamente sobre a dinâmica dos íons em solução (Amaral, 1998). O conhecimento da composição química da solução do solo é, portanto, de grande importância, uma vez que é o meio de onde as plantas retiram os nutrientes.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do método de reaplicação de calcário (superficial ou incorporado) nas características químicas das fases (sólida e líquida) de um Latossolo Bruno em plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA, no município de Entre Rios (PR). O experimento foi instalado em 1978, em Latossolo Bruno aluminico cámbico, com horizonte A proeminente (EMBRAPA, 1999), baixa saturação por bases e alto teor de Al trocável. No período de 1978-1986, cultivou-se soja (sete safras), em sucessão a trigo (três safras), cevada (três safras) e aveia branca (uma safra), e milho (uma safra), sendo este em sucessão à ervilhaca comum. No período de 1987-1999, em adição ao trigo (quatro safras), cevada (quatro safras) e ervilhaca comum (uma safra), foram cultivados aveia branca (duas safras) e nabo forrageiro (duas safras) no inverno, em sucessão a soja (dez safras) e milho (três safras) no verão.

No período de 1978 a 1987, o experimento foi composto por cinco combinações (inverno/verão) dos sistemas de preparo convencional (PC), plantio direto (PD) e escarificação (ESC): PC-PC, PC-PD, PD-PC, PD-PD e ESC-PD, distribuídas em campo, segundo um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições (Jaster et al., 1993). Em setembro de 1987, incluiu-se o fator calagem no experimento, o qual foi alocado na subparcela e constou de três tratamentos: (a) sem calcário; (b) com calcário aplicado sobre o solo, sem incorporação, e (c) com calcário incorporado na camada arável do solo (0,2 m) com uma aração e duas gradagens. Em 1987 e 1995, aplicaram-se 4,5 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, respectivamente. Neste estudo, avaliou-se apenas a combinação PD-PD nos três tratamentos de calagem.

O solo foi amostrado, em abril de 1999, aproximadamente 12 anos após a primeira e quatro anos após a segunda reaplicação de calcário, em trincheira (0,5 x 0,5 x 0,5 m), cuja localização foi aleatória na subparcela. As amostras de solo foram

coletadas, com auxílio de espátula, nas profundidades de 0-0,10 m (com intervalos de 0,02 m), 0,10-0,20 m (com intervalos de 0,05 m) e de 0,20-0,40 (com intervalos de 0,10 m). As amostras foram submetidas à secagem em estufa a 50 °C, moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm.

Na fase sólida do solo, determinaram-se o pH em água (1:1) e os teores de Ca, Mg, Al e K trocáveis, carbono orgânico total (Tedesco et al., 1995) e de H + Al (EMBRAPA, 1997). Cálcio, Mg e Al trocáveis foram extraídos com solução de KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de plasma (ICP). O K trocável foi extraído com solução de ácidos diluídos (Mehlich-1) e determinado por fotometria de chama. A análise dos teores de H + Al foi realizada com extração com solução de acetato de cálcio 1,0 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e posterior determinação por titulação com NaOH 1,0 mol L<sup>-1</sup>. Os teores de carbono orgânico total foram determinados por digestão sulfocrômica. Os resultados de carbono orgânico total foram corrigidos pela densidade do solo, sendo expressos na relação massa/volume. A saturação por Al foi calculada pela razão entre o teor de Al e a CTC efetiva, sendo esta calculada pela soma dos teores de Ca, Mg, K e Al trocáveis. A saturação por bases foi calculada pela razão entre a soma de bases trocáveis (Ca, Mg e K) e a CTC a pH 7,0, sendo esta calculada pela soma dos teores de bases trocáveis e de H + Al.

Na fase líquida do solo, determinou-se a concentração de Ca, Mg, K e de carbono orgânico solúvel pelos mesmos procedimentos utilizados para a fase sólida. A extração da solução do solo foi realizada mediante a agitação de amostras de 50 g de solo com 50 mL de água destilada, durante 15 min (Ciotta, 2001). Após uma noite em repouso, as suspensões foram transferidas para um frasco de kitazato, acoplado a uma bomba de vácuo. Colocou-se uma folha de papel-filtro na base do funil e obteve-se a fração líquida após a aplicação de vácuo.

Os resultados foram submetidos à análise da variância. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, alocando-se os tratamentos de calagem, como fator principal, e a profundidade de amostragem do solo, como subfator. A diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey a 5 %, e a relação entre variáveis, pela significância dos coeficientes de regressões polinomiais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Acidez ativa e Al trocável

No tratamento sem calcário, ocorreu a formação de uma frente de acidificação, evidenciada pelos menores valores de pH na camada de solo de 0,02-0,15 m de profundidade (Figura 1a). Por sua vez, a

reaplicação de calcário elevou o pH do solo na camada de 0-0,15 m (Figura 1a). Em comparação ao tratamento com incorporação de calcário, a aplicação superficial do corretivo determinou maior incremento do pH na camada de 0-0,04 m do solo, mas foi eficiente também na correção da acidez em subsuperfície (0,04-0,15 m).

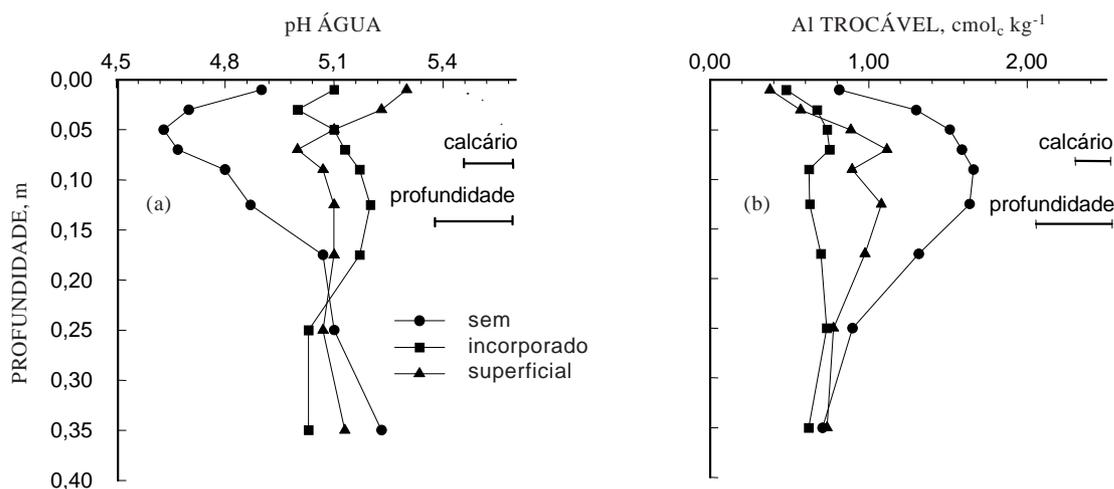
Observando os valores de pH do solo em profundidade no tratamento com calcário superficial (Figura 1a), pode-se distinguir o efeito da última calagem, realizada em 1995, a qual foi responsável pelos maiores valores desse atributo na camada de 0-0,06 m. Por sua vez, o efeito da primeira calagem, realizada em 1987, fica evidenciado pelos maiores valores de pH do solo na camada de 0,08-0,15 m, em comparação ao solo sem calcário. Considerando que se passaram 12 anos da primeira reaplicação de calcário (1987-1999) e que o efeito da calagem superficial ocorreu até 0,15 m de profundidade, pode-se afirmar que o efeito da calagem superficial na correção da acidez em subsuperfície ocorreu a uma taxa de aproximadamente 0,01 m ao ano, o que está de acordo com a afirmação genérica encontrada na literatura para a maioria dos solos e cultivos (Cruz & Stammel, 1978).

O efeito de neutralização da acidez em profundidade pela aplicação de calcário na superfície pode estar relacionado com o seu deslocamento no perfil, já que o plantio direto mantém boas características físicas do solo (Drees et al., 1994; Rojas & Van Lier, 1999). O cultivo sem revolvimento do solo por longo período mantém canais abertos graças à decomposição das raízes e formação de galerias oriundas da atividade da meso e macrofauna do solo, favorecendo a ação do corretivo em subsuperfície.

Segundo Oliveira & Pavan (1996) e Caires et al. (2000), a movimentação de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para camadas mais profundas do solo pode contribuir para o aumento do pH nas camadas subsuperficiais do solo. Oliveira & Pavan (1996) observaram que a aplicação do calcário em superfície no plantio direto teve efeito no pH do solo até 0,40 m, em quatro anos. Este efeito foi dependente não só do movimento da água e da formação e migração de  $\text{HCO}_3^-$  com Ca e Mg através de solos bem drenados e estruturados, mas também da formação de complexos de Ca e Mg com compostos orgânicos solúveis lixiviados da palhada sobre o solo (Miyasawa et al., 1993). Entretanto, o aumento de pH em profundidade pela aplicação superficial de calcário depende da magnitude da acidez do solo antes da aplicação do corretivo, frequência de calagem, tempo transcorrido após a correção (Moreira et al., 2001), dose de calcário aplicada (Rheinheimer et al., 2000) e, principalmente, do poder tampão do solo (Pottker & Ben, 1998).

A calagem diminuiu os teores de Al trocável de  $1,27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , no solo sem calcário, para  $0,74 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , na média da camada de 0-0,2 m dos tratamentos com calcário. O calcário em superfície diminuiu os teores de Al trocável até 0,2 m de profundidade, embora numa magnitude menor em subsuperfície do que o calcário incorporado (Figura 1b). A calagem não alterou os teores de Al trocável na camada de 0,2-0,4 m. Na camada de 0-0,2 m, não houve diferença nos teores de Al trocável entre as profundidades estudadas do solo, com exceção da camada superficial (0-0,02 m) que apresentou o menor teor médio de Al trocável.

Esses resultados demonstram que o efeito da calagem sobre o Al trocável está ocorrendo em toda camada arável (0-0,2 m), mesmo com a reaplicação



**Figura 1.** Valores de pH em água (a) e teores de Al trocável (b) de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando três tratamentos de calagem (sem calcário, calcário incorporado e calcário superficial). Barras horizontais representam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % (calcário = método de aplicação de calcário, profundidade = profundidade amostrada do solo).

do corretivo na superfície do solo. Na camada superficial (0-0,02 m), além do maior valor de pH, a formação de complexos solúveis de Al com ácidos orgânicos, oriundos da decomposição da matéria orgânica e dos resíduos vegetais, pode estar contribuindo para a diminuição dos teores de Al trocável (Hue et al., 1986).

A diminuição do Al trocável pela calagem superficial foi observada também por autores como Caires et al. (1999) e Pottker & Ben (1998), os quais verificaram essa redução até 0,1 e 0,05 m de profundidade, respectivamente, sendo esse processo proporcional à quantidade de calcário aplicada (Pottker & Benm, 1998).

### Carbono orgânico total e solúvel

A calagem não influenciou nos teores de carbono orgânico total (COT) do solo. Possivelmente, as maiores adições de C fotossintetizado nos tratamentos com calcário (Ciotta, 2001) foram compensadas por um possível efeito benéfico da correção da acidez na decomposição microbiana da matéria orgânica do solo (Neale et al., 1997).

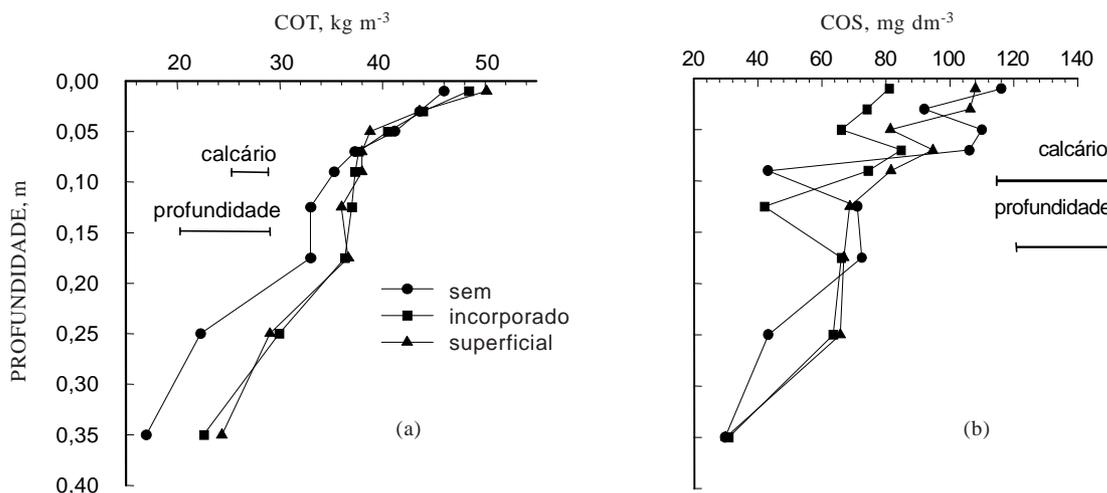
A distribuição do COT no perfil do solo foi semelhante nos três tratamentos e os maiores teores ocorreram até 0,04 m, superando em, aproximadamente, 30 % o teor médio das demais profundidades. O maior teor de COT na superfície do solo foi resultante da ausência de mobilização do solo no sistema de PD, que ocasiona a deposição e o acúmulo dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

No presente estudo, as duas mobilizações do solo realizadas em 1987 e em 1995, para incorporação do calcário, não resultaram em diminuição do COT, em comparação ao tratamento com calagem

superficial. Isto pode ser atribuído à alta estabilidade coloidal da matéria orgânica em solos argilosos e com altos teores de óxidos de ferro e alumínio (Bayer, 1996). Além disso, a localização da matéria orgânica no interior de microagregados resistentes ao manejo do solo lhe confere alta proteção física ao ataque de microrganismos e de suas enzimas (Six et al., 1999).

Entretanto, em solos menos argilosos e, ou, menos intemperizados, pode-se esperar efeito negativo do revolvimento do solo para incorporação de calcário sobre os seus teores de matéria orgânica. Nesse sentido, Bruce et al. (1995) verificaram que o incremento na quantidade de matéria orgânica ocorrido em cinco anos de plantio direto foi perdido em quase sua totalidade com apenas um revolvimento do solo. Amado et al. (2001) verificaram perda de, aproximadamente, 25 % do estoque de matéria orgânica de um Argissolo Amarelo (150 g kg<sup>-1</sup> de argila) sob campo nativo, com apenas uma aração e duas gradagens para incorporação de calcário e fertilizantes.

O carbono orgânico solúvel (COS) não foi influenciado pelos tratamentos, e o seu maior teor ocorreu nas camadas superficiais do solo, com diminuição acentuada abaixo de 0,08 m de profundidade (Figura 2b). A relação entre os teores de COT e COS, expressa por  $COS = 37,28 + 3,02 COT$ ,  $r^2 = 0,63$  ( $n = 27$ ;  $P < 0,001$ ), demonstra a importância do acúmulo de matéria orgânica no solo para o aumento dos teores de carbono orgânico em solução. O COS forma complexos solúveis de carga neutra com cátions metálicos, facilmente deslocáveis no perfil do solo. Com isso, Ca e Mg podem ser translocados para camadas mais profundas do solo e a toxidez de Al pode ser diminuída em subsuperfície.



**Figura 2. Teores de carbono orgânico total - COT (a) e carbono orgânico solúvel - COS (b) de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando três tratamentos de calagem (sem calcário, calcário incorporado e calcário superficial). Barras horizontais representam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 % (calcário = método de aplicação de calcário, profundidade = profundidade amostrada do solo).**

### Cátions trocáveis e solúveis

A calagem aumentou os teores de Ca trocável até 0,2 m de profundidade independentemente do modo de aplicação de calcário, com exceção da primeira camada do solo (0-0,02 m), onde o maior teor de Ca ( $6,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) foi observado no tratamento com calcário em superfície (Quadro 1). No tratamento com calcário incorporado, houve distribuição uniforme do Ca na camada de 0-0,2 m, enquanto, com a calagem superficial, houve maior concentração de Ca até 0,04 m e diminuição gradativa com o aumento da profundidade. A maior concentração de Ca na camada superficial deve-se à solubilização do corretivo e liberação de Ca a partir da superfície, bem como à mineralização dos nutrientes dos resíduos vegetais depositados sobre o solo.

A calagem, na média dos tratamentos, superficial e incorporado, favoreceu o aumento dos teores de Mg em 28 % na camada de 0-0,20 m. A calagem superficial aumentou os teores de Mg em toda camada arável (0-0,2 m), apresentando maiores teores de Mg de 0-0,04 m e teores de Mg intermediários de 0,04-0,15 m (Quadro 1). No perfil do solo, o teor de Mg diminuiu gradativamente com o aumento da profundidade do solo em todos os tratamentos.

A calagem aumentou os teores de Ca e Mg na solução do solo na camada de 0-0,4 m. Os maiores teores de Ca em solução ocorreram com a incorporação do calcário, enquanto os maiores teores de Mg em solução com o calcário aplicado em superfície (Quadro 1). A concentração de ambos os nutrientes em solução apresentou alta correlação com a concentração na fase sólida do solo (Figura 3).

Tais resultados demonstram que houve aumento de Ca e Mg em subsuperfície, mesmo quando não se incorporou o calcário. O movimento de Ca e Mg no perfil do solo pode ser explicado pela formação de compostos orgânicos hidrossolúveis a partir de ácidos orgânicos liberados pela decomposição dos restos vegetais (Miyasawa et al., 1993). Na camada superficial do solo, esses ligantes orgânicos complexam os cátions trocáveis Ca e Mg, formando moléculas de carga neutra e facilitando sua descida no perfil. Deste modo, além de aumentarem a disponibilidade de Ca e Mg em subsuperfície, ainda podem diminuir a saturação por Al. Essa movimentação, provavelmente, é lenta, influenciada por fatores biológicos, físicos e químicos, decorrente da manutenção dos restos na superfície, diminuição das variações de temperatura e umidade, o que favorece a atividade da fauna do solo, responsável pela abertura de canais por onde também pode

**Quadro 1. Teores trocáveis e solúveis de Ca e Mg no perfil de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando três tratamentos de calagem**

Profundidade	Ca			Mg		
	Sem calcário	Calcário superficial	Calcário incorporado	Sem calcário	Calcário superficial	Calcário incorporado
m	Trocável, $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$					
0-0,02	3,5 Ba	6,0 Aa	4,3 Ba	1,2 Ba	1,6 Aa	1,3 ABa
0,02-0,04	2,7 Bab	4,9 Aab	3,8 ABab	0,8 Bab	1,2 Aab	1,0 ABab
0,04-0,06	2,1 Bab	3,3 Abc	3,8 Aab	1,6 Bb	1,0 ABbc	1,0 Aab
0,06-0,08	1,8 Bb	3,0 Ac	3,7 Aab	0,6 Bb	0,8 ABbc	1,0 Aabc
0,08-0,10	1,5 Bb	2,9 Ac	3,7 Aab	0,5 Bb	0,7 ABbc	0,9 Aabc
0,10-0,15	1,6 Bb	2,9 Ac	3,6 Aab	0,5 Bb	0,7 ABbc	0,9 Aabc
0,15-0,20	1,7 Bb	3,3 Ac	3,3 Aab	0,5 Bb	0,8 Abc	0,8 Aabc
0,20-0,30	1,4 Ab	1,9 Ac	2,5 Abc	0,5 Bb	0,5 Acd	0,7 Abc
0,30-0,40	1,4 Ab	1,7 Ac	1,3 Ac	0,6 Bb	0,4 Bd	0,5 Ac
	Solução, $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
0-0,02	1,10 Ba	0,95 Ba	1,23 Aa	0,58 Aa	0,62 Aa	0,54 Aa
0,02-0,04	0,65 Bb	0,68 Bb	0,84 Aab	0,29 Ab	0,37 Ab	0,32 Ab
0,04-0,06	0,61 Bb	0,53 Bb	0,81 Aab	0,26 Ab	0,32 Ab	0,27 Ab
0,06-0,08	0,57 Ab	0,53 Ab	0,56 Ab	0,24 Bb	0,24 Ab	0,25 Ab
0,08-0,10	0,36 Bc	0,53 Ab	0,54 b	0,15 Bbc	0,23 Ab	0,23 Ab
0,10-0,15	0,35 Bc	0,50 Ab	0,50 Ab	0,13 Bbc	0,19 Ab	0,22 Ab
0,15-0,20	0,29 Bc	0,39 Ac	0,46 Abc	0,11 Bc	0,17 Ab	0,18 Ab
0,20-0,30	0,27 Bc	0,43 Ac	0,39 Ac	0,11 Bc	0,16 Ab	0,18 Ab
0,30-0,40	0,19 Bc	0,29 Ac	0,35 Ac	0,10 Bc	0,16 Ab	0,10 Bc

Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo da calagem dentro da mesma profundidade. Letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada sistema de manejo da calagem. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

ocorrer o transporte das partículas de calcário. Ânions inorgânicos, como  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , liberados a partir da decomposição de restos vegetais depositados sobre a superfície do solo, lixiviam no perfil transportando cátions, como Ca e Mg, à subsuperfície, podendo, também, aumentar a disponibilidade desses íons em maiores profundidades do solo em plantio direto (Caires et al., 1999).

Entretanto, a intensidade do efeito da aplicação superficial de calcário sobre a acidez da subsuperfície de solos em plantio direto é relacionada, positivamente, com a dose de corretivo utilizada (Pottker & Benm, 1998), com o tempo transcorrido após a aplicação do corretivo (Cassol, 1995; Amaral, 1998) e com o tempo de estabelecimento do plantio direto, uma vez que a porosidade contínua e a abertura de canais pela macrofauna do solo aumentam com a manutenção do sistema (Pierce et al., 1994). Analisando as doses de calcário, Santos (1997) observou efeito do calcário seis meses após a incorporação do corretivo na camada de 0-0,025 m (3,3 e 3,7  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  com 1,2 e 3,6  $\text{Mg ha}^{-1}$ , respectivamente) e pequena diferença entre doses na camada de 0,025 a 0,050 m. Depois de 18 meses da aplicação superficial de calcário, o efeito estendeu-se também à camada de 0,025 a 0,05 m.

O teor médio de K trocável no perfil do solo estudado (0-0,4 m) foi maior no tratamento sem calcário (0,24  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e menor com a calagem incorporada ao solo (0,19  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ), graças,

provavelmente, à menor absorção pelas culturas quando não se realizou a calagem (Quadro 2). Os teores de K em solução refletiram os teores de K trocável (Figura 3c). Na solução do solo, comparando os sistemas sem e com calcário, nos dois modos de aplicação, a diferença ocorreu até os 0,06 m de profundidade, onde os teores médios de K foram de 0,42 e 0,29  $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ , respectivamente (Quadro 2). Adicionalmente aos maiores teores de K trocável, a menor CTC efetiva (Ciotta, 2001) nos tratamentos sem calcário pode ter contribuído para a ocorrência de maiores teores de K em solução, em comparação aos tratamentos com calcário. Houve tendência de queda nos teores de K trocável e em solução com a profundidade de solo, tendo as maiores concentrações ocorrido sempre na camada superficial do solo (Quadro 1).

O acúmulo de K trocável na superfície do solo também foi observado por Amaral (1998), porém não se manteve ao longo do tempo. O comportamento diferenciado do K deve-se à sua dinâmica no solo, que é mais dependente da frequência de adubação potássica, aliado a fatores tais como tipo de solo, CTC e influência do pH na CTC (Maria & Castro, 1993).

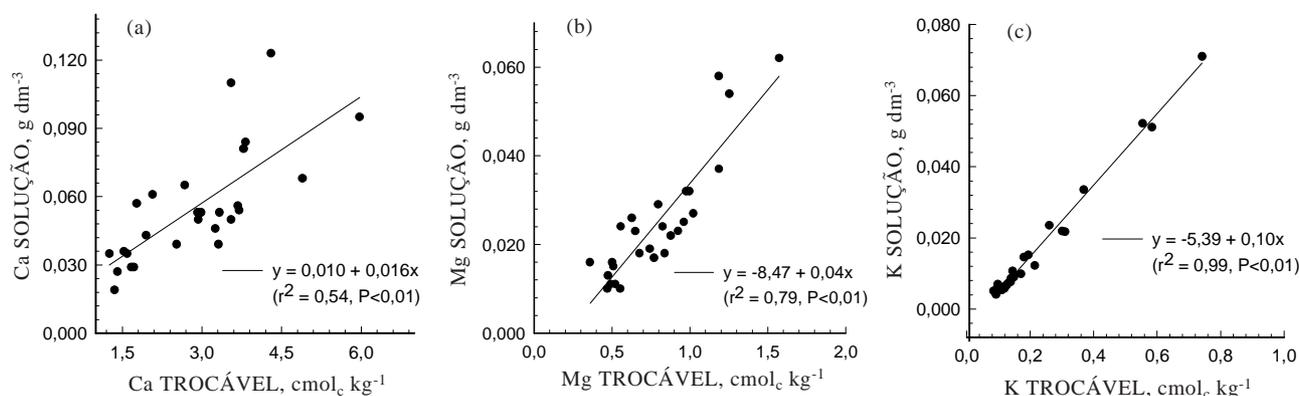
### Saturação por bases

A calagem aumentou a saturação por bases no solo em relação ao sistema sem calcário, sendo esse efeito restrito à camada de 0-0,2 m (Quadro 3). Não houve efeito diferenciado dos modos de aplicação de

**Quadro 2. Teores trocáveis e solúveis de K no perfil de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando três tratamentos de calagem**

Profundidade m	Sem calcário	Calcário em superfície	Calcário incorporado
	K trocável, $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$		
0-0,02	0,74 Aa	0,58 Ba	0,55 Ba
0,02-0,04	0,37 Aab	0,30 Bab	0,31 Bab
0,04-0,06	0,26 Ab	0,22 ABb	0,18 Bb
0,06-0,08	0,19 Ab	0,17 ABb	0,15 Bb
0,08-0,10	0,14 Ab	0,15 Ab	0,14 Ab
0,10-0,15	0,14 Ab	0,14 Ab	0,12 Ab
0,15-0,20	0,13 Ab	0,13 Ab	0,11 Ab
0,20-0,30	0,10 Ab	0,12 Ab	0,10 Ab
0,30-0,40	0,09 Ab	0,08 Ab	0,09 Ab
	K solução, $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$		
0-0,02	0,71 Aa	0,51 Ba	0,52 Ba
0,02-0,04	0,34 Ab	0,22 Bb	0,22 Bb
0,04-0,06	0,24 Ac	0,12 Bbc	0,15 Bbc
0,06-0,08	0,15 Acd	0,10 Ac	0,09 Acd
0,08-0,10	0,11 Ade	0,09 Ac	0,08 Acd
0,10-0,15	0,09 Ade	0,08 Ac	0,06 Acd
0,15-0,20	0,07 Ade	0,07 Ac	0,05 Acd
0,20-0,30	0,06 Ae	0,06 Ac	0,07 Acd
0,30-0,40	0,04 Ae	0,05 Ac	0,04 Ad

Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo da calagem dentro da mesma profundidade. Letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada sistema de manejo da calagem. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.



**Figura 3.** Relação entre os teores trocáveis e solúveis de Ca (a), Mg (b) e K (c) em um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando três tratamentos de calagem (sem calcário, calcário incorporado e calcário superficial).

**Quadro 3.** Saturação por bases no perfil de um Latossolo Bruno aluminico em plantio direto, considerando o método de replicação de calcário

Profundidade	Sem calcário	Calcário superficial	Calcário incorporado
m	%		
0-0,02	44 Ba	57 Aa	49 ABa
0,02-0,04	31 Bb	47 Aab	41 Aa
0,04-0,06	27 Bb	38 Ab	42 Aa
0,06-0,08	22 Bb	33 Ab	40 Aa
0,08-0,10	21 Bb	31 Ab	39 Aa
0,10-0,15	20 Bb	33 Ab	38 Aa
0,15-0,20	23 Bb	36 Ab	38 Aa
0,20-0,30	26 Ab	25 Ac	32 Aab
0,30-0,40	29 Ab	26 Ac	24 Ab

Letras maiúsculas comparam sistemas de manejo da calagem dentro da mesma profundidade. Letras minúsculas comparam profundidade dentro de cada sistema de manejo da calagem. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

calcário sobre a saturação por bases. Na média de 0-0,2 m, a saturação por bases aumentou de 25 % no solo sem calcário para 38 % no solo com calcário, valor este que foi exatamente igual em ambos os modos de replicação de calcário.

O aumento da saturação por bases em subsuperfície com a aplicação de calcário sobre o solo decorre da diminuição dos teores de Al trocável (Figura 1b) e do aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis no solo (Quadro 1). Esse efeito do calcário aplicado em superfície sobre os componentes da acidez do solo em subsuperfície demonstra a viabilidade técnica desta prática em solos cultivados em plantio direto há longo prazo.

## CONCLUSÕES

1. A replicação de calcário promoveu melhoria no ambiente químico do solo em plantio direto, evidenciada pela elevação do pH em água, dos teores de Ca e Mg trocáveis, da saturação por bases e pela diminuição dos teores de Al trocável.

2. A aplicação de calcário sobre a superfície do solo e sem incorporação foi eficiente na elevação do pH, na camada de 0-0,15 m, e na elevação dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases, bem como na diminuição da saturação de Al trocável, na camada de 0-0,20 m, não diferindo do tratamento com incorporação de calcário ao solo com aração e duas gradagens.

3. Os teores de Ca, Mg e K em solução foram diretamente relacionados com os teores desses elementos na fase trocável.

## AGRADECIMENTOS

À Cooperativa Agrária de Entre-Rios (Guarapuava, PR), pela manutenção, condução e financiamento do experimento por meio da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA). Em especial ao Eng. Agrº. Sr. Franz Jaster, pela instalação e condução do experimento na sua fase inicial, salientando a visão privilegiada deste

profissional, cuja iniciativa pioneira representou uma grande contribuição para o avanço do entendimento e adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo no Sul do Brasil.

### LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:189-197, 2001.
- AMARAL, A.S. Reaplicação do calcário em sistema plantio direto consolidado. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 102p. (Tese de Mestrado)
- BAYER, C. Dinâmica e qualidade da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.9-39.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L. & FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.*, 54:101-109, 2000.
- BRUCE, R.R.; LANGDALE, G.W.; WEST, L.T. & MILLER, W.P. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59:654-660, 1995.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A. & MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:315-327, 1999.
- CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:161-169, 2000.
- CASSOL, L.C. Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 98p. (Tese de Mestrado)
- CIOTTA, M.N. Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminico sob plantio direto há 20 anos. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 100p. (Tese de Mestrado)
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- CRUZ, E.S. & STAMMEL, J.B. Efeito residual da calagem em solos de diferentes classes texturais. *Técnico IPZFO*, 5:225-310, 1978.
- DREES, L.R.; KARATHANASIS, A.D.; WILDING, L.P. & BLEVINS, R.L. Micromorphology of long-term tillage treatments. *Soil Sci.*, 58:508-517, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo, 2.ed. Brasília, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de Solos. Brasília: 1999. 412p.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L. & OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:275-280, 1998.
- ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. & CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:537-544, 2000.
- FRANCHINI, J.C.; MIYASAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2267-2276, 1999.
- HELYAR, K.R. Nitrogen cycling and soil acidification. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.*, 42:217-221, 1976.
- HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R. & ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:28-34, 1986.
- JASTER, F.; ELTZ, F.L.F.; FERNANDES, F.F.; MERTEN, G.H.; GAUDÊNCIO, C.A. & OLIVEIRA, M.C.N. Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos. Londrina, EMBRAPA, 1993. 37p. (Boletim Técnico)
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:411-416, 1993.
- MARIA I.C. & CASTRO, O.M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:471-477, 1993.
- MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. & PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:71-81, 2001.
- NEALE, S.P.; SHAH, Z. & ADAMS, W.A. Changes in microbial biomass and nitrogen turnover in acidic organic soils following liming. *Soil Biol. Biochem.*, 29:1463-1474, 1997.
- OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till. Res.*, 38:47-57, 1996.
- PIERCE, F.J.; FORTIN, M.C. & STATON, M.J. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1782-1787, 1994.
- 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.
- POTTKER, D. & BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.

- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.C. & GATIBONI, L.C. Alteração de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:797-805, 2000.
- ROJAS, C.A.L. & van LIER, Q.J. Alterações físicas e hídricas de um Podzólico em função de sistemas de preparo. *Pesq. Agropec. Gaúcha*, 5:105-115, 1999.
- SANTOS, E.J. Aplicação de calcário em solos arenosos sob sistema plantio direto e campo nativo. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.67p. (Tese de Mestrado)
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- TEDESCO, M.J.; GIANELO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5)