



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Cassol Flores, João Paulo; Cassol, Luis César; Anghinoni, Ibanor; Faccio Carvalho, Paulo César de
Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração
lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 6, noviembre-diciembre, 2008, pp. 2385-2396

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214064017>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA SUBMETIDO A PRESSÕES DE PASTEJO EM PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

João Paulo Cassol Flores⁽²⁾, Luis César Cassol⁽³⁾, Ibanor
Anghinoni⁽⁴⁾ & Paulo César de Faccio Carvalho⁽⁵⁾

RESUMO

A utilização de extensas áreas usadas unicamente com culturas para cobertura do solo no inverno para pastejo de animais para produção de carne ou leite pode se tornar uma fonte alternativa de renda aos produtores de grãos no verão, no sul do Brasil. A presença de bovinos em áreas utilizadas apenas com lavouras em plantio direto pode, no entanto, promover alterações em atributos do solo, cuja magnitude depende do manejo adotado. Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes pressões de pastejo sobre a correção da acidez do solo a partir da aplicação superficial de calcário em um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Os tratamentos consistiram do manejo do pasto em diferentes alturas (10, 20, 30 e 40 cm), além de áreas sem pastejo, aplicadas durante o inverno. Em dezembro de 2001, foi feita uma amostragem de solo para avaliação de atributos químicos do solo após o primeiro ciclo de pastejo, nas camadas de 0-25, 2,5-5, 5-7,5, 7,5-10, 10-12,5, 12,5-15, 15-17,5, 17,5-20 e 20-25 cm. Na seqüência, foram aplicados 4,5 t ha⁻¹ (PRNT 62 %) de calcário em superfície, em toda a área, sendo cultivada soja em sucessão ao pastejo. Amostragens de solo seguiram-se ao final do primeiro, segundo, terceiro, quarto e quinto ciclos de soja, correspondendo aos 6, 12, 24, 36 e 48 meses após a aplicação de calcário. Foram avaliados: o pH-H₂O; o índice SMP; os teores de Ca, Mg, K e Al trocáveis e de carbono orgânico total (COT). A aplicação superficial

⁽¹⁾ Parte das Teses de Doutorados do primeiro e do segundo autor, apresentada junto ao PPG-Ciência do Solo – UFRGS. Trabalho realizado com recursos da FAPERGS e CNPq. Recebido para publicação em março de 2008 e aprovado em outubro de 2008.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando do PPG em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). Bolsista CAPES. E-mail: joaopcflores@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Caixa Postal 571, CEP 85503-390, Pato Branco (PR). E-mail: cassol@uftp.edu.br

⁽⁴⁾ Professor do PPG em Ciência do Solo, UFRGS. Bolsista CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Professor do PPG em Zootecnia, UFRGS. Bolsista CNPq. E-mail: paulocfc@ufrgs.br

de calcário foi eficiente na correção da acidez, de forma variável em profundidade, com o atributo químico avaliado e com o tempo, atingindo até 25 cm de profundidade. A presença de bovinos em pastejo na área incrementou o efeito em profundidade da calagem superficial. As diferentes adições de resíduo ao solo não afetaram os teores de COT do solo.

Termos de indexação: pressão de pastejo, calagem, produção integrada de grãos.

SUMMARY: *CHEMICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL UNDER NO-TILLAGE SUBMITTED TO SURFACE LIMING AND DISTINCT GRAZING PRESSURES IN A CROP-LIVESTOCK INTEGRATION SYSTEM*

The use of large areas occupied only with winter soil cover crops for cattle grazing may become an alternative income source for summer grain producers in southern Brazil. The presence of cattle in areas used only with no tillage crops may, however, affect soil attributes, depending on the management type. This study aimed to evaluate the effects of surface liming on the chemical attributes of a Red Latosol (Oxisol) under no-tillage and crop-livestock integration. Treatments consisted of pasture management at different heights (10, 20, 30 and 40 cm), in addition to areas without grazing, during the winter. In December 2001, the soil (layers of 0–25, 2.5–5, 5–7.5, 7.5–10, 10–12.5, 12.5–15, 15–17.5, 17.5–20 and 20–25 cm) was evaluated for chemical properties after the first grazing cycle. Thereafter, 4.5 Mg ha⁻¹ limestone (62 % effective neutralization value) was broadcast and left on soil surface and soybean grown in succession to grazing. Soil samples were collected at the end of the first, second, third, fourth and fifth soybean growing seasons, corresponding to 6, 12, 24, 36, and 48 months after liming. The following variables were evaluated: pH-H₂O, SMP, exchangeable Ca, Mg, K and Al, and total organic carbon (TOC). The surface lime application was effective in correcting the acidity to a depth of 25 cm, depending on the attribute and variable over time. The presence of cattle grazing in the area increased the depth effect of liming. The input of different residues to the soil did not affect the TOC levels.

Index terms: grazing pressure, liming, integrated grain production.

INTRODUÇÃO

A manutenção de alto índice de produtividade e a obtenção de renda durante o ano todo são ideais almejados pelos produtores agrícolas. No entanto, no Estado do Rio Grande do Sul (RS), o período de inverno vem se constituindo um obstáculo a ser superado para se atingir esse objetivo, pois o cultivo de cereais dessa estação, de forma geral, vem perdendo espaço em razão do custo de produção, da falta de garantias de comercialização e dos riscos de adversidades climáticas que comprometem a produção.

Em razão disso, grande parte dos produtores tem preferido o cultivo de espécies como aveia-preta, azevém e ervilhaca, para manter o solo coberto, de modo a viabilizar o sistema plantio direto (SPD), tendo a soja como principal cultura de verão, que, em muitos casos, é a única fonte de renda do produtor. No RS, em torno de 1,0 e 5,5 milhões de hectares são ocupados por culturas de inverno e verão, respectivamente (CONAB, 2008), com o propósito de produção de grãos. Da área cultivada no verão, estima-se que 80 % seja conduzida sob SPD (Amado et al., 2006). Assim sendo, uma área superior a 3,0 milhões de ha permanece ocupada apenas

por culturas de cobertura ou em pousio durante o inverno. O manejo dessas áreas de forma integrada com a pecuária pode causar forte impacto sobre os índices agropecuários do RS (Cassol, 2003) e tornar-se fonte de renda adicional para o produtor, que, somada à receita da cultura de verão, pode diminuir a sua dependência da cultura de verão, diminuindo riscos do agronegócio.

A adoção do SPD, por sua vez, fez com que surgissem questionamentos sobre a forma e a freqüência com que o calcário deve ser reaplicado ao solo, uma vez que a sua aplicação é superficial, o que diminuiria a sua eficiência em corrigir a acidez em profundidade, devido a características de baixa solubilidade. Essa questão é ainda polêmica, pois, em alguns casos (Pöttker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000b,a; Amaral & Anghinoni, 2001), o efeito do calcário aplicado superficialmente se restringe à correção da acidez nas camadas superficiais (até 10 cm), enquanto em outros (Caires et al., 1998; Petrere & Anghinoni, 2001; Caires et al., 2003; Gatiboni et al., 2003), esses efeitos podem atingir camadas mais profundas, o que comprovaria a eficácia dessa prática em aumentar, ou, no mínimo, manter os rendimentos das culturas (Cassol, 2003).

A magnitude do efeito, em profundidade, do calcário aplicado em superfície no solo sob SPD, depende também de suas características, do clima e do manejo do solo e do sistema de culturas adotado (Amaral, 2002). Vários são os mecanismos determinantes da dinâmica do calcário em SPD, os quais participam, de forma variável e simultânea dessa magnitude, em função do manejo do solo, sendo difícil a quantificação de cada um de forma isolada (Amaral, 2002).

A maior parte dos trabalhos envolvendo a temática calagem no SPD foi realizada num sistema puro de produção de grãos (lavoura). No entanto, em sistemas integrados (lavoura-pecuária), a presença de animais pode interferir na dinâmica do calcário no solo sob SPD com integração lavoura-pecuária (ILP) em relação a áreas puramente de lavouras, pois afeta alguns dos fatores citados (Amaral, 2002). O pisoteio animal, quando em solo úmido, causa redução da macroporosidade e da taxa de infiltração de água no solo nas camadas mais superficiais (Trein et al., 1991; Bertol et al., 1998, 2000; Lanzanova et al., 2007), que podem restringir a descida de partículas finas. Porém, a deposição de excrementos de origem animal, principalmente de fezes, promove maior atividade da meso e macrofauna do solo, o que gera um grande número de galerias (bioporos) no interior do solo (Edwards et al., 1988), pelas quais pode se dar o deslocamento de partículas de calcário, favorecendo a correção da acidez do solo em subsuperfície. Durante a decomposição de resíduos vegetais, ocorre liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que atuam como ligantes orgânicos, favorecendo o aumento de Ca e Mg e a diminuição do Al fitotóxico em profundidade (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999, 2000). Fenômeno semelhante pode ocorrer durante a degradação dos resíduos animais, principalmente das fezes, podendo favorecer o efeito em profundidade do calcário no solo.

Pelo exposto, nota-se que a dinâmica do calcário em profundidade, em áreas utilizadas apenas com lavouras sob SPD, tem se mostrado às vezes controversa e bastante complexa, sofrendo interferência de vários fatores e mecanismos. Acredita-se que a presença de bovinos em pastejo nessas áreas

aumenta ainda mais a complexidade do sistema. Contudo, estudos que exploram a temática da calagem em áreas sob SPD e ILP são escassos. Sendo assim, esse assunto deve ser mais estudado para que possam ser desenvolvidas práticas de manejo do solo, da planta e do animal em sistemas integrados de produção, o que pode colaborar no sentido de sua adoção por parte dos produtores.

Este trabalho foi realizado para verificar o efeito de distintas pressões de pastejo sobre a correção da acidez do solo em profundidade a partir da aplicação superficial de calcário num Latossolo Vermelho sob plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda do Espinilho, de propriedade da Agropecuária Cerro Coroado, localizada em São Miguel das Missões ($28^{\circ}56'08''S$ e $54^{\circ}20'51''W$), região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroferríco típico (Embrapa, 1999), profundo, bem drenado, vermelho-escuro e de textura argilosa ($0,54\text{ kg kg}^{-1}$ de argila, $0,17\text{ kg kg}^{-1}$ de silte, $0,29\text{ kg kg}^{-1}$ de areia, na camada de 0–20 cm). O relevo é ondulado a suavemente ondulado, com precipitação pluviométrica em torno de 1.900 mm por ano, sendo as chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

Antes da implantação do experimento, a área se encontrava há 10 anos sob SPD, sendo cultivada com aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) no inverno e com soja (*Glycine max* (L.) Merr.) no verão durante este período. Em julho de 2000, pela primeira vez, a área foi utilizada com pastejo de bovinos durante três semanas. As características químicas da área experimental anteriores ao estabelecimento do experimento são apresentadas no quadro 1.

A área experimental, em torno de 21 ha, foi dividida em 12 parcelas (piquetes), cujas áreas variaram de 1,0 a 2,5 ha. Em maio de 2001, começaram a ser aplicadas na pastagem de inverno, aveia-preta +

Quadro 1. Atributos químicos em diferentes camadas de Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto, antes da aplicação superficial do calcário (novembro de 2001)

Camada	pH-H ₂ O	NC pH 5,5 ⁽¹⁾	COT ⁽²⁾	Cátions trocáveis ⁽³⁾				Nutriente disp. ⁽⁴⁾		Saturação na troca	
				Ca	Mg	Al	H + Al	P	K	Bases	Al
cm		t ha ⁻¹	g kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		%	
0–5	4,9	5,3	42,2	6,20	1,26	0,30	8,68	13,4	240	48	4
5–10	4,6	6,0	34,8	4,80	1,78	0,59	9,72	9,8	119	41	9
10–15	4,6	6,0	25,5	4,10	2,15	0,72	9,72	5,2	88	40	11
15–20	4,6	6,6	25,5	4,00	1,10	1,01	10,13	3,7	55	34	17

⁽¹⁾ Método SMP – NC: necessidade de calcário para a camada de 0–20 cm. ⁽²⁾ Carbono orgânico total. ⁽³⁾ KCl 1 mol L⁻¹. ⁽⁴⁾ Mehlich-1.

azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) diferentes alturas de manejo do pasto (pressões de pastejo). As parcelas foram arranjadas num delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, em que o pasto no inverno era manejado a 10, 20, 30 e 40 cm, avaliadas em intervalos de 14 dias e mantidas por aplicação de carga animal variável nas parcelas, aumentando-se ou diminuindo-se essa carga conforme a necessidade de diminuir ou aumentar a altura do pasto, respectivamente. Além dessas parcelas, entre os blocos foram deixadas áreas de 10 m de comprimento, com largura total da área experimental, onde foram demarcadas parcelas de 10 x 10 m, as quais não eram pastejadas, sendo usadas como testemunhas sem pastejo em relação aos demais tratamentos.

Após a saída dos animais, foram aplicadas (8/12/2001) em superfície, em toda a área experimental, 4,5 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 62 %), que corresponde à dose recomendada pela CQFSRS/SC (2004) para elevar o pH do solo até 5,5 na camada de 0–10 cm, em plantio direto consolidado. Na área sem pastejo, algumas áreas de 10 x 10 m receberam calcário na dose equivalente ao restante do experimento (SP-4,5), enquanto outras permaneceram sem calcário (SP-0).

A pastagem foi constituída de uma mistura de aveia-preta e de azevém, sendo a aveia semeada anualmente (100 kg ha⁻¹) e o azevém obtido por ressemeadura natural. Usualmente era utilizada adubação de base (diversas doses e formulações em função da análise de solo) no momento da semeadura. Em torno de 45 dias após a semeadura, fez-se uma aplicação de N (45 a 90 kg ha⁻¹), na forma de uréia, em função dos objetivos dos estudos realizados durante o inverno. Os animais entravam na área na primeira quinzena de julho, onde permaneciam até a primeira quinzena de novembro (em torno de 110 dias de pastejo). A soja foi semeada após cada ciclo de pastejo, via semeadura direta, num espaçamento entre linhas de 0,45 m, com adubação de base de 300 kg ha⁻¹ dos fertilizantes superfosfato simples, 0–20–30, 5–20–20, 0–20–30 e 0–20–30 nas safras 2001/02, 2002/03, 2003/04, 2004/05 e 2005/06, respectivamente, e as sementes foram inoculadas com inoculante específico. Os ciclos de cultivo da soja tiveram duração média em torno de 140 dias.

Antes da aplicação do calcário (novembro de 2001), após o primeiro ciclo da soja (maio de 2002) e após cada ciclo de pastejo (novembro de 2002, 2003, 2004 e 2005), foram feitas amostragens de solo para avaliar os atributos químicos relacionados com a acidez, antes e após 6, 12, 24, 36 e 48 meses da aplicação de calcário, respectivamente.

Para a caracterização química do solo, coletaram-se oito subamostras dentro de cada parcela, visando à obtenção de uma amostra composta representativa. As camadas amostradas foram de 0,0–2,5; 2,5–5,0; 5,0–7,5; 7,5–10,0; 10,0–12,5; 12,5–15,0; 15,0–17,5; 17,5–20,0 e 20,0–25,0 cm. Nessas amostras, foram determinados o pH-H₂O, os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺

trocáveis (KCl 1 mol L⁻¹), o teor de K disponível (Mehlich-1) e o teor de carbono orgânico total (COT) (Tedesco et al., 1995). Também foi determinado o índice SMP com a finalidade de se obter o valor de H + Al, pela equação $\log (H + Al) = 3,020 - 0,371 SMP$ (Kaminski et al., 2002). Com esses dados, foram calculados a capacidade de troca de cátions efetiva e a pH 7 (CTC_{ef}) e pH 7 (CTC_{pH 7}) e as saturações por bases (V) e por Al³⁺ (m).

Os resultados das avaliações realizadas foram submetidos à análise de variância, empregando-se o Teste da Diferença Mínima Significativa (DMS) com $0,05 > p \geq 0,01$ para a separação das médias, utilizando-se do seguinte modelo estatístico para a análise da variância:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + C_k + \text{erro } b(i,k) + A C_k + \text{erro } c(i,j,k)$$

em que B = blocos ($i = 1,2,3$); A = alturas de manejo do pasto ($j = 1,2,3,4,5$); C = camadas amostradas ($k = 1,2,3, \dots, 9$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo da área experimental antes da aplicação do calcário na superfície era muito ácido conforme indicam o pH-H₂O, a saturação por bases e a saturação por Al³⁺ (Quadro 1). Aos seis meses após a calagem, o efeito do calcário sobre o pH do solo (Figura 1) pôde ser observado em profundidade, chegando a 7,5, 10 e 12,5 cm aos 12, 24 e 36 meses, respectivamente, mantendo-se nessa camada até os 48 meses. Cabe salientar que ocorreu um período de déficit hídrico na região, entre os meses de dezembro de 2001 e fevereiro de 2002, que pode ter afetado a reatividade do calcário, restringindo o seu efeito corretivo na acidez do solo aos seis meses após a sua aplicação, já que o seu efeito depende, entre outros fatores, do regime hídrico (Amaral, 2002; Alleoni et al., 2005).

O efeito da calagem sobre o pH do solo um ano após a aplicação do calcário na superfície já havia atingido a profundidade de 12,5 cm (Figura 1). Os valores de pH do tratamento SP-0, em todas as épocas de avaliação, ficaram em torno de 4,5 abaixo de 7,5 cm, enquanto 12 meses depois, os valores estavam em torno de 4,0. Isso parece indicar que houve uma subestimação desses valores, o que faz com que a diferença entre as médias dos tratamentos seja maiores.

Para os teores de Ca trocável (Figura 2), houve efeito da calagem ($0,05 > p \geq 0,01$) após um ano da aplicação até a profundidade de 25 cm, que se manteve até os 24 meses. Já aos 48 meses, apesar de ainda haver diferenças entre as médias, os teores desse atributo foram menores, com uma diminuição e uniformização ao longo do perfil do solo. Acredita-se que, na amostragem aos 12 meses, houve uma superestimação dos teores de Ca trocável nos tratamentos sem pastejo (SP-4,5 e SP-0), sobretudo

no SP-0, pois, nas amostragens subseqüentes, os valores de Ca^{2+} trocável tenderam a ser menores.

Aos seis meses após a calagem, os teores de Mg trocável somente foram maiores ($0,05 > p \geq 0,01$) nos tratamentos com calcário em relação à área SP-0 apenas na camada de 0–2,5 cm, fato que se repetiu aos 12 meses (Figura 3). Já aos 24 meses, o pastejo influenciou positivamente os teores de Mg trocável até a profundidade de 10 cm, mantendo-se assim aos 36 meses. Aos 48 meses, sofreram uma pequena queda na camada superficial do solo, no tratamento sem pastejo.

A saturação por bases não foi afetada pela calagem ou pastejo nos primeiros seis meses após a aplicação de calcário (Figura 4). No entanto, como o Ca trocável

responde por grande parte da saturação por bases, esta apresentou comportamento semelhante, ocorrendo diferenças ($0,05 > p \geq 0,01$) até os 25 cm de profundidade aos 24 meses após a calagem. Os valores e as diferenças praticamente se mantiveram aos 36 meses. Aos 48 meses, sofreram uma pequena queda, principalmente na camada superficial do solo.

A saturação por Al em profundidade foi afetada pelos tratamentos apenas aos 36 e 48 meses após a calagem quando foram observadas diferenças até 17,5 cm de profundidade (Figura 5). Se for considerado o valor de saturação por Al de 10 %, estabelecido pela CQFSRS/SC (2004) para tomada de decisão de reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado, nota-se que o calcário foi eficaz na correção

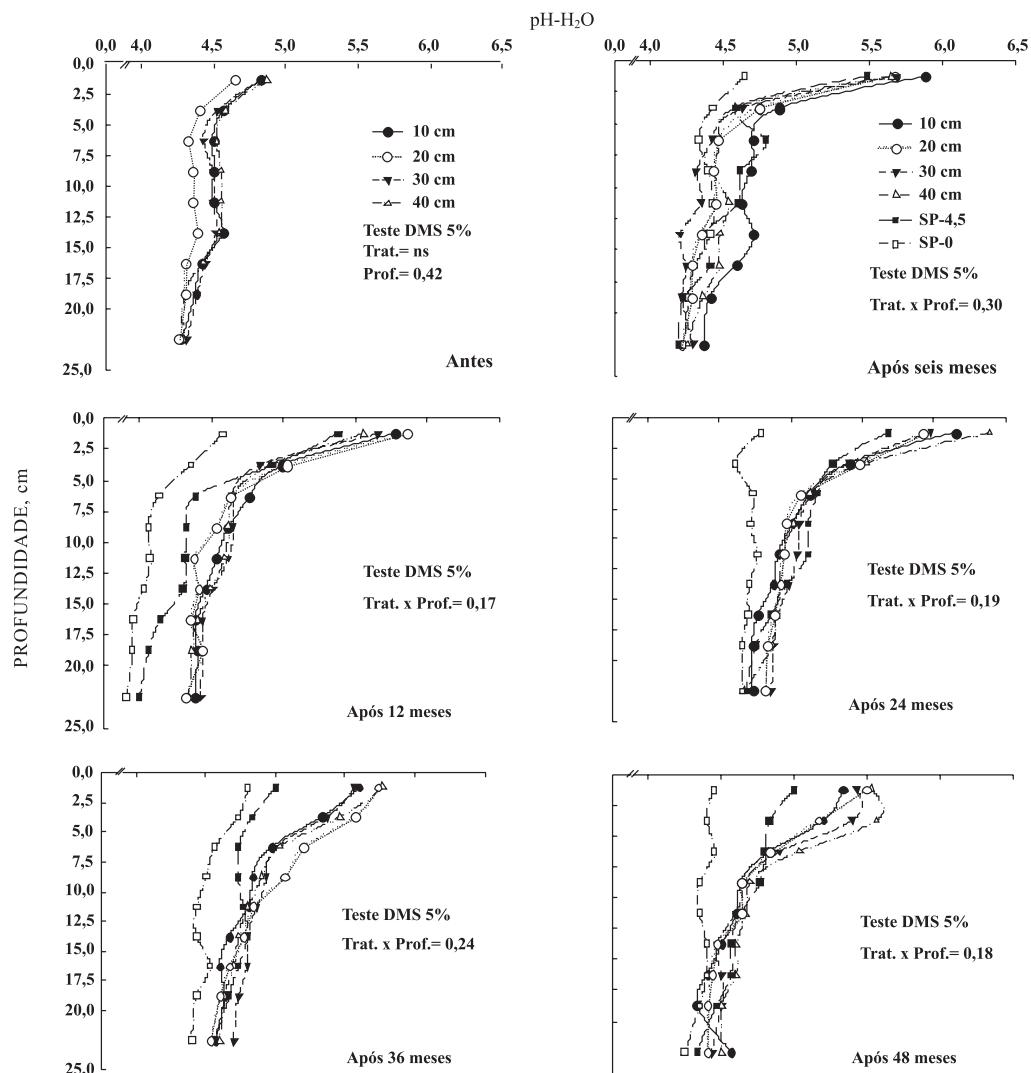


Figura 1. Valores de pH em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

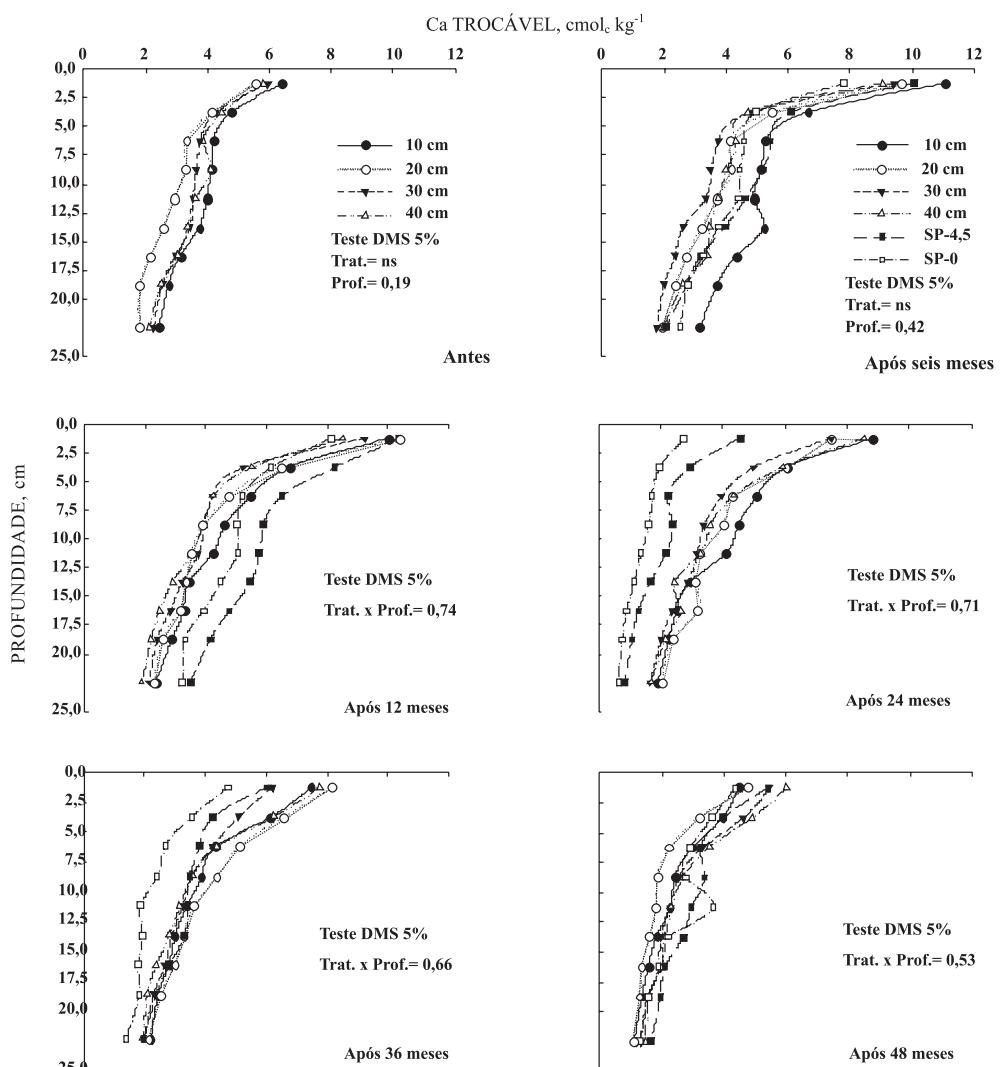


Figura 2. Teor de cálcio trocável em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

do Al trocável somente até a profundidade de 5 cm, aos seis meses após a sua aplicação, estendendo esse efeito até 7,5 cm, aos 12 meses, e mantendo-se nesse nível nas demais épocas de amostragem. A ocorrência de poucas interações entre os fatores para esse atributo pode ser explicada pela variabilidade dos resultados, que pode ser atribuída ao coeficiente de variação, o qual atingiu o valor de 28,31 % na amostragem feita 48 meses após a calagem.

O calcário atingiu o seu pico máximo de reação 24 meses após a sua aplicação, momento no qual foram observados os maiores valores de pH, Ca trocável, Mg trocável e saturação por bases (Figuras 1 a 4), e menores de saturação por Al (Figura 5). Aos 36 meses

após a calagem, o solo começou a mostrar evidências de que o efeito corretivo do calcário sobre a acidez do solo estava cessando, pela diminuição dos valores de pH (Figura 1) e dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Figuras 2 e 3, respectivamente). Isso veio a ser confirmado aos 48 meses, quando se verificou a manifestação mais acentuada do processo de reacidificação do solo.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com vários relatos (Caires et al., 1998; Petrere & Anghinoni, 2001; Caires et al., 2003; Gatiboni et al., 2003), no sentido de que a calagem superficial no sistema plantio direto pode ser efetiva em profundidade, uma vez que foram observados os seus efeitos até os 25 cm de profundidade, 24 meses após a aplicação do corretivo.

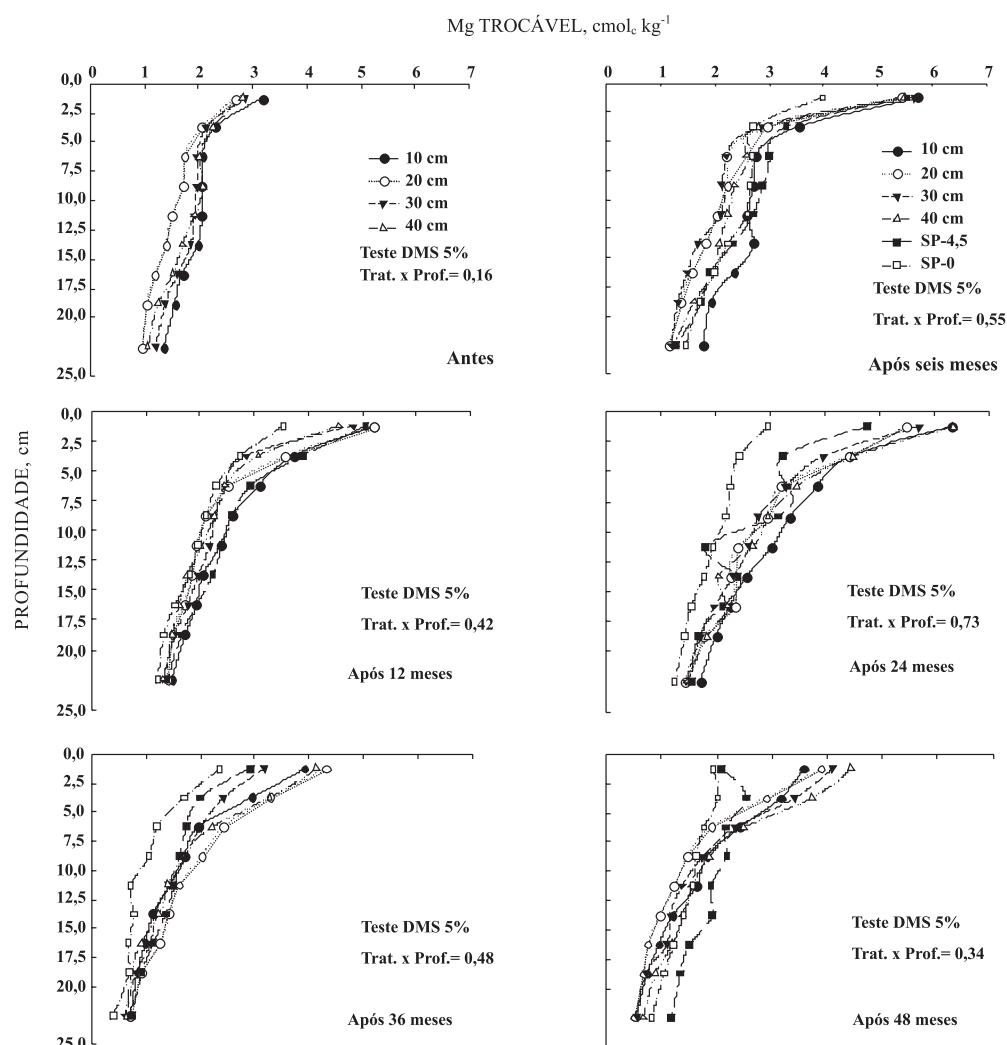


Figura 3. Teor de magnésio trocável em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno.

Tendo em vista que, de forma geral, não houve diferenças entre as intensidades de pastejo com relação aos atributos de acidez avaliados, são apresentados na figura 6 os seus valores médios e comparados aos respectivos valores sem pastejo e, ou, sem calcário, no momento da máxima ação do calcário, o que ocorreu após os 24 meses de sua aplicação. Essa ação positiva ($0,05 > p \geq 0,01$) da presença dos animais ocorreu em todos os atributos avaliados, porém com diferentes intensidades: no pH em água 12,5 cm, no Ca trocável até 25 cm, no Mg trocável até 5,0 cm e na saturação por bases na camada de 2,5–5,0 (Figura 6a,b,c,d).

Considerando os critérios de calagem utilizados pela CQFSRS/SC (2004) para a condição de plantio direto consolidado ($\text{pH} \leq 5,5$, saturação por bases

$< 65\%$ e saturação por Al $< 10\%$) na camada 0–10 cm, verifica-se que tais condições foram satisfeitas somente no momento de máxima ação do calcário até aproximadamente 2,5 cm para pH e saturação por bases (Figura 6a,d), e em torno de 7,5 cm para a saturação por Al (Figura 6e), sempre com a indicação de que esses efeitos podem-se manifestar com um pouco mais de profundidade (em torno de 3,0 cm) quando da presença dos animais.

Em áreas com integração lavoura-pecuária, os animais promovem um aumento da complexidade da dinâmica da correção da acidez, em função do pisoteio (alteração de atributos físicos do solo), do pastejo (afeta a biomassa vegetal sobre o solo) e dos excrementos (adiciona ligantes orgânicos).

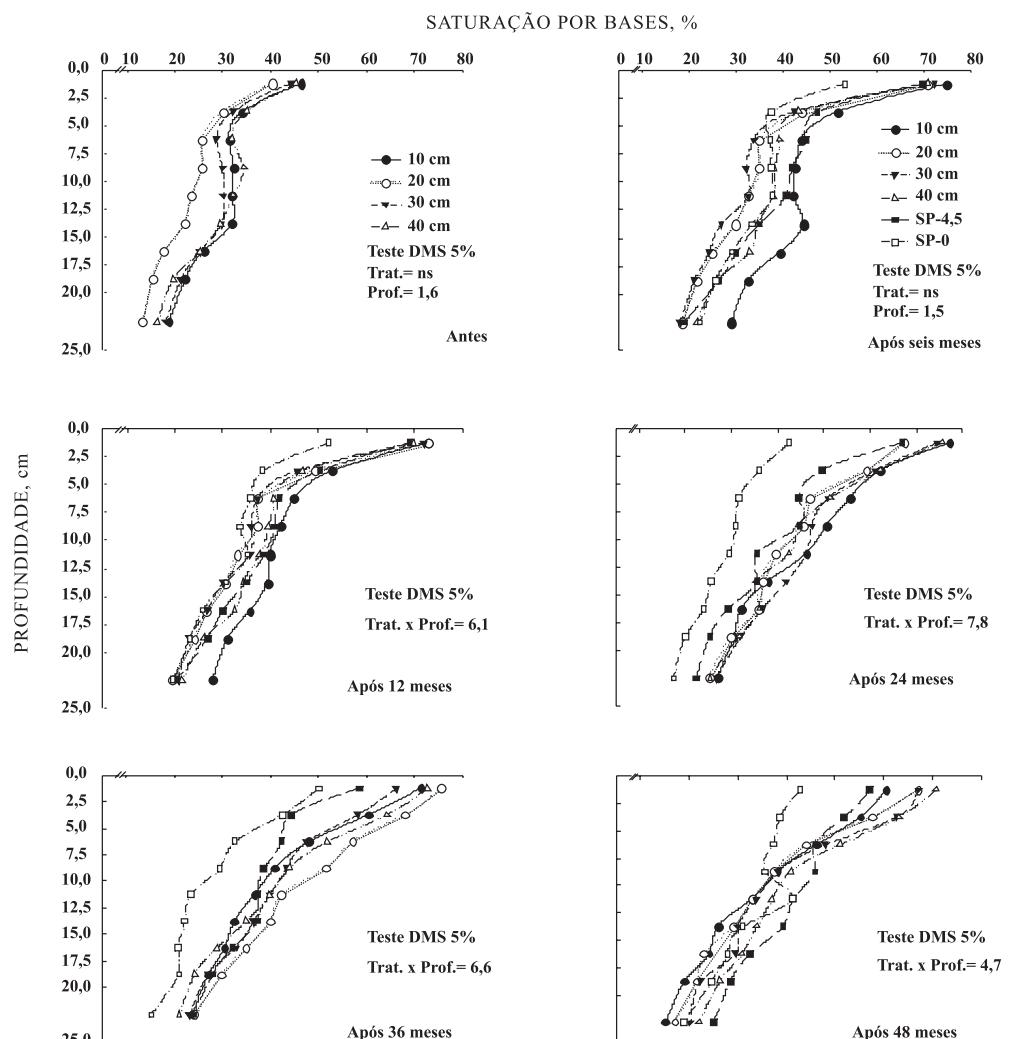


Figura 4. Valores de saturação por bases em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

Ácidos orgânicos de baixo peso molecular (AOBPM), liberados durante a decomposição dos resíduos animais, principalmente fezes, podem estar auxiliando no efeito corretivo do calcário em profundidade, favorecendo a descida de Ca^{2+} e Mg^{2+} no perfil do solo. Entretanto, a exsudação de compostos orgânicos pela aveia e pelo azevém sob influência do pastejo pode explicar o efeito mais homogêneo da correção da acidez nas áreas pastejadas, uma vez que a distribuição dos resíduos animais é heterogênea. Os mesmos AOBPM exsudados pelas plantas e liberados durante a degradação dos seus resíduos culturais (Kochian, 1995; Ma et al., 2001) também são encontrados no esterco bovino (Baziramakenga & Simard, 1998). Desta forma, é possível que, de forma semelhante ao observado para AOBPM de origem vegetal (Miyazawa

et al., 1993; Franchini et al., 1999a, 2000), os AOBPM de origem animal estejam diminuindo a ação fitotóxica do Al e formando complexos com Ca^{2+} e Mg^{2+} , favorecendo, dessa forma, a sua descida no perfil do solo.

Os teores de COT do solo se diferenciaram ($0,05 > p \geq 0,01$) apenas aos 48 meses (Figura 7), entre os tratamentos com maior adição de resíduos vegetais ao solo (30 e 40 cm e sem pastejo) com relação àqueles com menor adição (10 e 20 cm) na camada 7,5–10 cm, o que pode ser atribuído a variabilidade dos dados nessa camada, pois esperava-se uma diferenciação desses nas camadas superficiais, em função da distinta adição de resíduo ao solo. Apesar desta significância, os teores de COT do solo nas várias épocas de amostragem são bastante próximos.

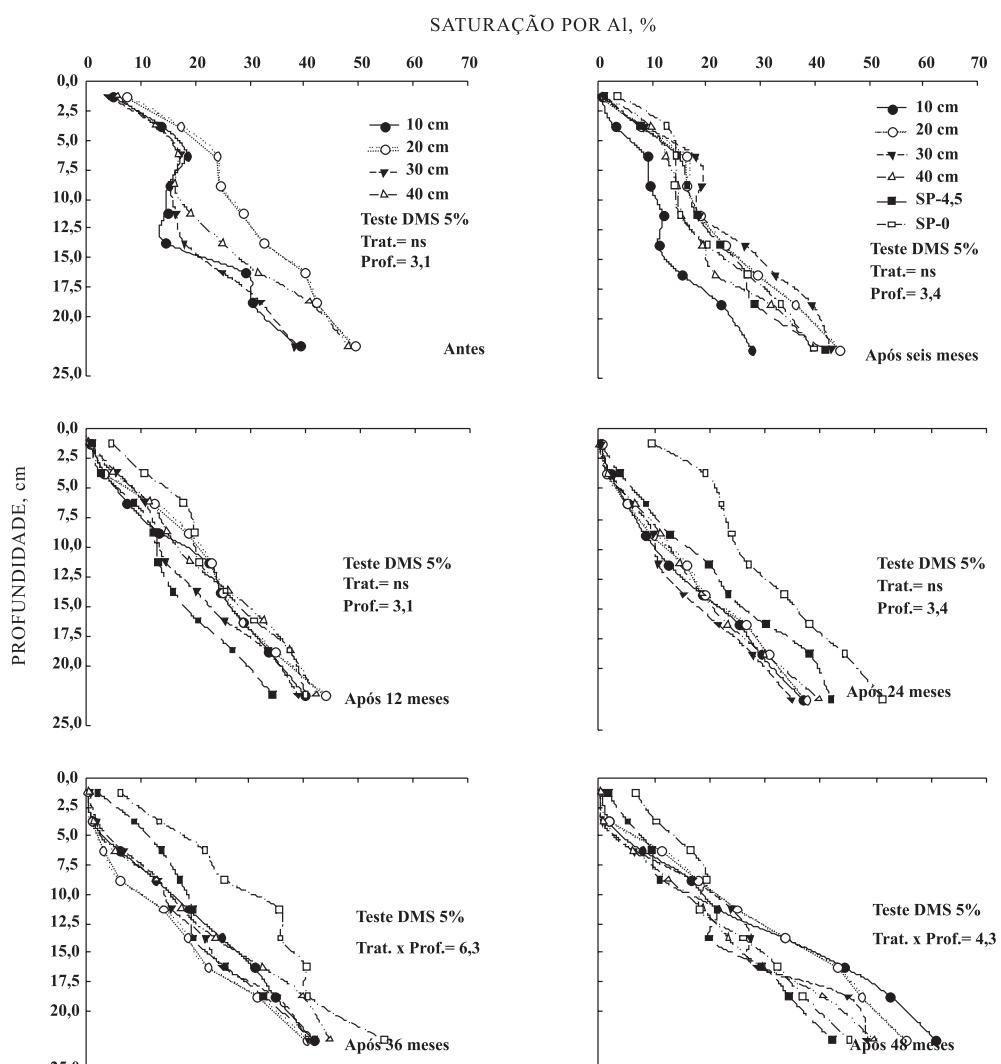


Figura 5. Valores de saturação por alumínio em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

Para a manutenção, no tempo, dos teores iniciais de matéria orgânica do solo sob SPD, as adições anuais de resíduo vegetal da parte aérea ao solo não podem ser inferiores a $8,0 \text{ t ha}^{-1}$ nas condições climáticas do RS (Lovato et al., 2004; Nicoloso, 2005). Neste trabalho, a quantidade média de resíduo vegetal (resíduo remanescente mais a parte aérea) que permaneceu sobre o solo, após os três ciclos de pastejo, foram de 1,98, 3,59, 5,32, 6,06 e 7,78 t ha^{-1} , para os tratamentos 10, 20, 30 e 40 cm e SP, respectivamente. Se for considerada a razão 0,8 entre a massa de matéria seca da parte aérea e o rendimento de grãos da soja, no momento da colheita (Herzog et al., 2004), tem-se a produção média de resíduo de soja de 2,91.

3,04, 2,95, 3,28 e 3,03 t ha^{-1} , ao longo das quatro safras avaliadas, nas alturas de manejo do pasto de 10, 20, 30 e 40 cm e na área SP, respectivamente. Desta forma, recomenda-se, para a manutenção dos teores de COT iniciais do solo, manejar o pasto entre 20 e 30 cm de altura. Com a adição diferenciada de resíduos principalmente no inverno, espera-se que, com o passar do tempo, haja uma diferenciação dos teores de COT do solo nas diferentes pressões de pastejo.

Alterações no teor de COT, em função da utilização de distintas práticas de manejo do solo e de culturas, não têm sido facilmente detectadas devido a interferências de outros fatores e da variabilidade natural do solo. O efeito de mudanças no manejo tem

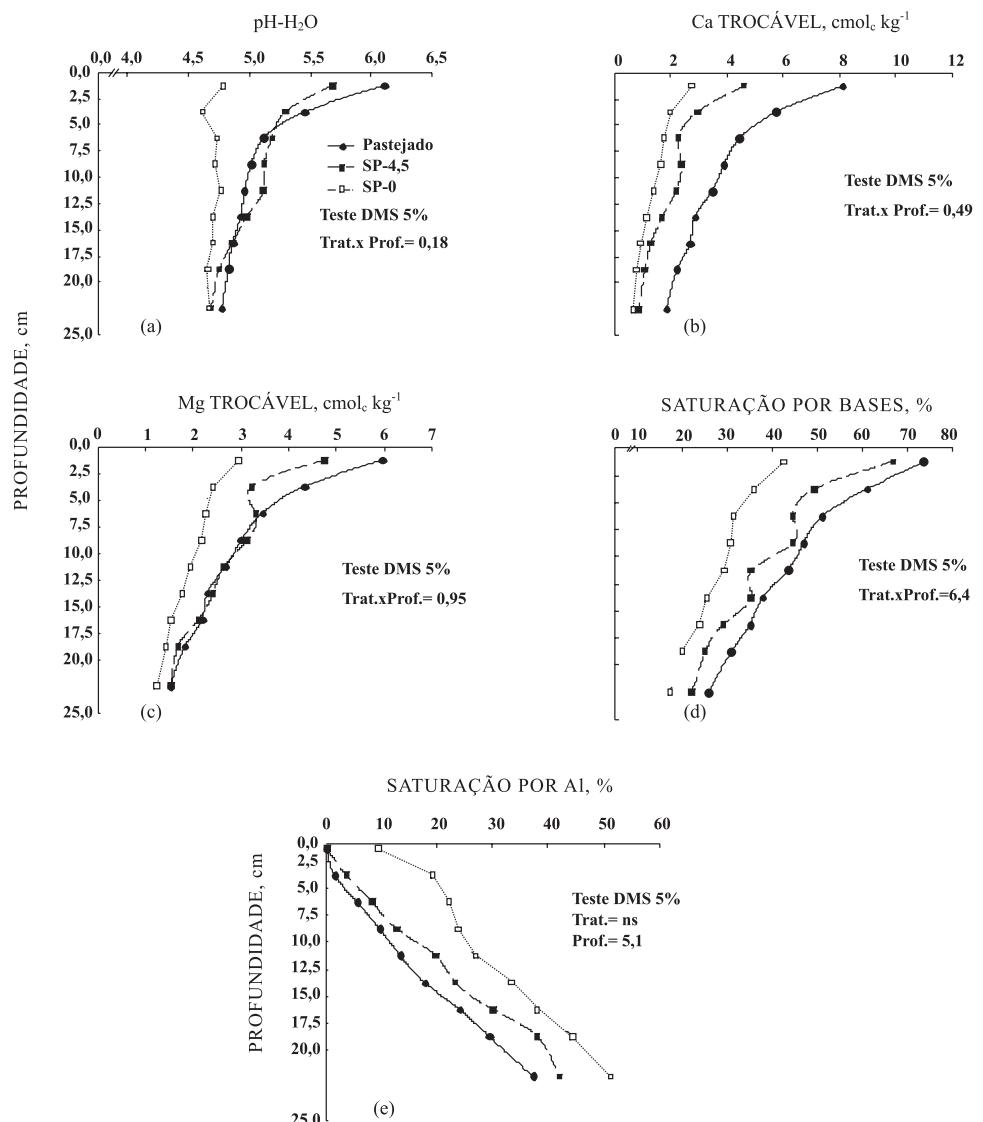


Figura 6. pH do solo (a) cálcio trocável (b) e magnésio trocável (c), saturação por bases (d) e saturação por alumínio (e) 24 meses após a aplicação de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

sido detectado na fração particulada da matéria orgânica, que é uma fração mais lável e mais facilmente alterada pelo manejo (Haynes, 2005).

CONCLUSÕES

1. A presença de bovinos em pastejo em área sob plantio direto e integração lavoura-pecuária incrementou os efeitos da calagem superficial em profundidade.

2. O calcário aplicado na superfície do solo nessas condições de manejo teve efeito máximo na correção do solo aos 24 meses. Depois, esse efeito tendeu a regredir, porém mantendo níveis de acidez inferiores à condição inicial sem calagem.

3. No seu ponto máximo de reação, o calcário aplicado em superfície promoveu aumento dos teores de pH, cálcio trocável, magnésio trocável e saturação por bases e diminuição da saturação por alumínio.

4. As diferentes quantidades de resíduos adicionadas ao solo não afetaram o teor de carbono orgânico total do solo.

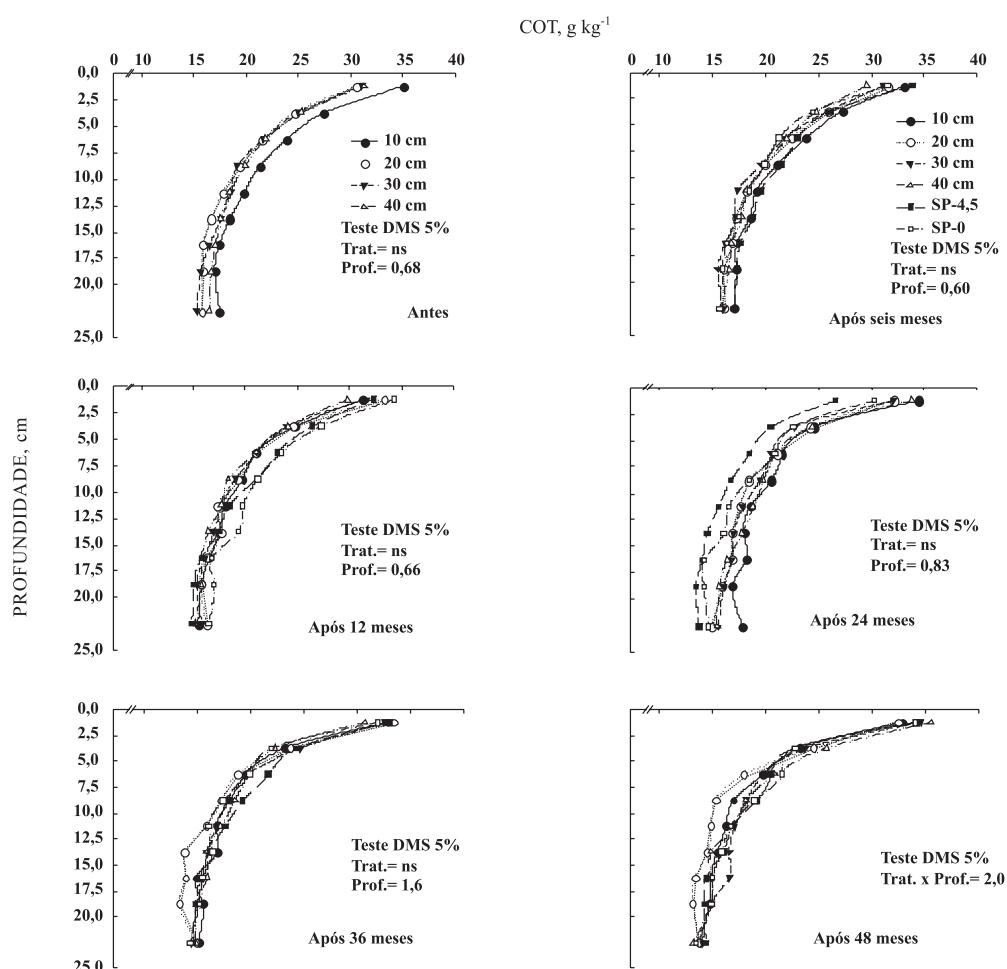


Figura 7. Teores de carbono orgânico total (COT) em diferentes épocas da aplicação superficial de calcário em Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária, com diferentes pressões de pastejo no inverno (ns: não significativo).

LITERATURA CITADA

- 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.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEICAO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; DE CAMPOS, B.H.C. & DA VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. *J. Environ. Qual.*, 35:1599-1607, 2006.
- AMARAL, A.S. Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de água na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002, 107p. (Tese de Doutorado)
- 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.
- BAZIRAMAKENGA, R. & SIMARD, R.R. Low molecular weight aliphatic acid contents of composted manures. *J. Environ. Qual.*, 27:557-561, 1998.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X. & KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de ofertas de forragem de capim-elefante anão cv. Mott. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:1047-1054, 2000.
- BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; MACHADO, A.Z. & MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:779-786, 1998.

- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivo sem preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:27-34, 1998.
- CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:275-286, 2003.
- CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 157p. (Tese de Doutorado)
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Sexto levantamento de avaliação da safra 2007/08 - Março de 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 10 março 2008.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo / Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.
- EDWARDS, W.M.; NORTON, L.D. & REDMOND, C.E. Characterizing macropores that affect infiltration into nontilled soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:483-487, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- FRANCHINI, J.C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & MALAVOLTA, E. Dynamic of ions in acid soil leached with green manure residues extracts and pure solutions of organic acids. *Pesq. Agropec. Bras.*, 34:2267-2276, 1999.
- FRANCHINI, J.C.; BORKERT, C.M.; FERREIRA, M.M. & GAUDÊNCIO, C.A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:459-467, 2000.
- GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.P.C.; RHEINHEIMER, D.S. & KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. *Ci. Rural*, 33:283-290, 2003.
- HAYNES, R.J. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: An overview. *Adv. Agron.*, 85:221-268, 2005.
- HERZOG, R.S.; LEVIEN, R. & TREIN, C.R. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. *Eng. Agric.*, 24:771-780, 2004.
- KAMINSKI, J.; GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; MARTINS, J.R.; SANTOS, E.J.S. & TISSOT, C.A. Estimativa da acidez potencial em solos e sua implicação no cálculo da necessidade de calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1107-1113, 2002.
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.*, 46:237-260, 1995.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuáriasob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1131-1140, 2007.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:175-187, 2004.
- MA, J.F.; RYAN, P.R. & DELHAIZE, E. Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organics acids. *Trends Plant Sci.*, 6:273-278, 2001.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:411-416, 1993.
- NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149p. (Tese de Mestrado)
- 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.
- PÖTTKER, 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. & XAVIER, F.M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ci. Rural*, 30:263-268, 2000a.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.C. & GATIBONI, L.C. Alterações de atributos químicos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:797-805, 2000b.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & WOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TREIN, C.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia+trevo/milho, após pastejo intensivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:105-111, 1991.