

CALAGEM PARA UMA ROTAÇÃO DE CULTURAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

D. PÖTTKER⁽²⁾ & J. R. BEN⁽³⁾

RESUMO

Agricultores que adotaram o sistema plantio direto (SPD) pretendem não mais arar o solo para incorporar calcário com o objetivo de corrigir a acidez do solo, daí a busca de novos métodos para a correção dessa acidez. Dois experimentos foram realizados, no período 1993-1996, para avaliar a resposta de soja, trigo, milho, aveia e cevada a calcário aplicado na superfície de solos com 380 g kg⁻¹ de argila (LEd-Passo Fundo) e com 580 g kg⁻¹ de argila (LRd-Sarandi), manejados no sistema plantio direto. Os experimentos foram desenvolvidos no delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram escolhidos conforme a necessidade de calagem dos solos, determinada pelo método SMP, para pH 6,0, em amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm a saber: testemunha, calcário incorporado e cinco níveis de calcário aplicados na superfície dos solos (1, 1/2, 1/4, 1/8 e 1/16 SMP). Apenas a soja, em 1994, e a soja e cevada, em 1996, mostraram respostas à aplicação do calcário. Na dose recomendada de calcário (1 SMP), não houve diferenças significativas entre calcário incorporado e não incorporado. Considerando as relações custo/benefício, as doses que proporcionaram maior retorno financeiro foram de 1/16 SMP, para o solo LEd, e de 1/8 SMP, para o solo LRd, quando se desconsiderou a cevada. Quando esta foi incluída na análise econômica, as doses que deram maior retorno financeiro foram de 1/4 e 1/2 SMP, para os solos LEd e LRd, respectivamente. Amostras de solo coletadas aproximadamente três anos após a aplicação do calcário revelaram que a adição de calcário na superfície dos solos corrigiu a acidez e aumentou significativamente o pH somente na camada de 0-5 cm. Conclui-se que não há inconveniência no uso de calcário na superfície de solos com acidez já corrigida pelo método convencional há alguns anos e que apresentem bom nível de nutrientes.

Termos de indexação: acidez do solo, calcário, soja, trigo, milho, aveia, cevada.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 1997 e aprovado em agosto de 1998. Trabalho financiado pelo Convênio Metas (Monsanto do Brasil, EMBRAPA, Adubos Trevo, Sementes Agroceres, Indústria de Máquinas Agrícolas Semeato, Fida Calcários, Jacto S.A. e pela Fundação de Amparo a Pesquisa do estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

⁽²⁾ Pesquisador da EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo. Caixa Postal 451, CEP 99001-970 Passo Fundo (RS).

⁽³⁾ *In memoriam.*

SUMMARY: *LIME APPLICATION FOR A CROP ROTATION UNDER NO-TILLAGE*

Alternative methods to correct soil acidity are needed because farmers who adopted no-tillage no longer want to plow soils to incorporate lime. Two experiments were carried out during the years 1993-1996 under no-tillage to evaluate the response of soybean, wheat, corn, oat and barley to lime applied on the surface of soils with 380 g kg⁻¹ clay (LEd-Haplorthox) and with 580 g kg⁻¹ clay (LRd-Haplorthox). A completely randomized block design, with three replications and seven treatments, was used. The treatments were established based on the SMP lime requirement method to reach pH 6.0, from soil samples taken from the 0-20 cm depth and were: control, incorporated lime and five levels of surface-applied lime (1 SMP, 1/2 SMP, 1/4 SMP, 1/8 SMP and 1/16 SMP). Only soybean in 1994, and soybean and barley in 1996, showed significant yield increases due to lime. At the recommended rate (1 SMP) there were no significant differences between incorporated and surface-applied lime. Considering the cost/benefit ratio, the lime rates which offered the highest financial return were 1/16 SMP, for the LEd soil, and 1/8 SMP, for the LRd soil, when barley was excluded from the economic analysis. When barley was included, the rates which gave the best return were 1/4 SMP and 1/2 SMP, respectively, for the LEd and LRd soils. Soil samples collected nearly three years after lime application showed that the addition of lime on the surface of soils, without incorporation, corrected soil acidity and significantly increased soil pH only in the 5 cm top layer. It is concluded that there is no drawback in using surface-applied lime on soils whose acidity was neutralized by incorporated lime several years before and which have a good nutrient level.

Index terms: soil acidity, lime, soybean, wheat, corn, oat, barley.

INTRODUÇÃO

O plantio direto caracteriza-se pelo não-revolvimento do solo e pela conseqüente manutenção dos restos culturais sobre a superfície. Embora a aração de solos submetidos ao sistema plantio direto (SPD) seja tecnicamente viável para incorporar calcário, a maioria dos produtores não deseja mais usá-la, para não destruir o que foi ganho pela adoção do SPD (aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, aumento da CTC, melhora da estrutura do solo, etc.). Assim, a busca de métodos alternativos para a aplicação de calcário em lavouras desenvolvidas no SPD tem sido uma preocupação de pesquisadores e de outros profissionais ligados ao assunto.

Moschler et al. (1973), trabalhando em solos com pH de 5,3 (área sob preparo convencional) e de 4,8 (área sob plantio direto), ambos determinados na camada de 0-10 cm, estudaram o efeito do calcário aplicado na superfície do solo sob SPD e daquele incorporado ao solo no sistema convencional de preparo (aração + gradagens). Na média de oito anos, o aumento no rendimento de grãos de milho foi de 31,3%, no SPD, e de apenas 13,5%, no sistema convencional, demonstrando a viabilidade de aplicação do calcário na superfície do solo sob SPD. Blevins et al. (1978) também reportaram aumentos no rendimento de grãos de milho pela aplicação de calcário na superfície de solos com pH inicial de 5,6 e de 5,1 e concluíram ser esse método eficiente para

neutralizar a acidez do solo causada pela fertilização nitrogenada do milho cultivado no SPD. No entanto, os autores alertaram que, se o solo apresentar pH muito baixo, a incorporação do calcário pode ser mais recomendável.

O método de aplicação de calcário na superfície do solo tem sido avaliado também em relação ao cultivo de forrageiras (Koch & Estes, 1986). Esses autores, ao estudarem o estabelecimento de uma mistura de leguminosas com gramíneas, em solo franco-arenoso, com pH inicial de 5,6, relataram que as produções das leguminosas e do total de forragem, no ano do estabelecimento, foram maiores com calcário incorporado em comparação com calcário aplicado na superfície do solo. Nos anos seguintes, no entanto, as produções anuais e a produção total de seis anos, no tratamento que recebeu 4,5 t ha⁻¹ de calcário, não diferiram entre os métodos de aplicação. Também Rechcigl et al. (1985) verificaram que a alfafa mostrou acréscimos de produção superiores a 100% pela aplicação de calcário na superfície do solo e que a época de aplicação (8 ou 20 meses antes do plantio e no plantio) não teve influência nas produções. O pH do solo, na camada de 0-10 cm, variou de 6,4 a 6,9 nas parcelas que receberam calcário, comparado com valores de 5,3 a 5,9 nas parcelas sem calcário. Apesar de a calagem ter afetado principalmente o pH na camada de 0-10 cm, a maior diferença em relação à abundância de raízes de alfafa foi encontrada na profundidade

de 1,5 m, com grande vantagem para a aplicação de calcário em relação ao tratamento sem calcário.

Coventry et al. (1992), ao estudarem a interação de métodos de preparo do solo e calagem, em solo franco-arenoso, com pH (CaCl₂) de 4,4 na camada de 0-8 cm, concluíram que a calagem e o cultivo convencional ocasionaram acréscimos no rendimento de trigo iguais a 59, 93 e 98%, em três anos sucessivos, enquanto esses valores para calcário aplicado na superfície e plantio direto foram de 34, 59 e 29%. No Brasil, Sá (1995) relatou resultados obtidos com a aplicação de calcário em solo com 64% de argila, pH (CaCl₂) de 4,1, teor de alumínio trocável de 12,2 mmol_c dm⁻³ e saturação por alumínio igual a 26%, na camada de 0-20 cm. As doses de calcário foram de 2 t ha⁻¹, aplicadas na superfície e incorporadas com escarificador, de 7,1 t ha⁻¹, incorporadas na profundidade de 0-20 cm, e de 13,5 t ha⁻¹, incorporadas na profundidade de 0-35 cm. O autor observou que, na seqüência dos cultivos soja, milho, trigo, soja, milho e trigo, apenas a soja, em dois cultivos, e o primeiro cultivo de milho responderam à calagem superficial.

Wolf et al. (1994), ao usarem solos argilosos, com valores de pH de 5,3 e 4,5, observaram que, na quantidade recomendada de calcário (12,3 t ha⁻¹), as produções de alfafa, em cada ano, eram similares para calcário incorporado e calcário não incorporado. Relataram, ainda, que altas produções de alfafa foram mantidas por mais tempo onde o calcário não foi incorporado ao solo. Apontaram a necessidade de amostrar o solo até 7,5 cm, quando se pretender usar calcário não incorporado e cultivar alfafa no SPD. Oliveira & Pavan (1996) não encontraram diferenças significativas no rendimento de grãos de soja entre o calcário incorporado e o aplicado na superfície de um solo com 620 g kg⁻¹ de argila, na dose recomendada (5,5 t ha⁻¹). A aplicação anual de 1/4 da quantidade recomendada, durante quatro anos, foi equivalente ao calcário incorporado, exceto no primeiro ano, quando este tratamento foi inferior.

Além das modificações ocasionadas pela aplicação de calcário, devem-se considerar também as oriundas da adoção do SPD. Pouco ainda se sabe sobre a química do alumínio em sistemas de preparo do solo.

No entanto, Salet (1994), estudando as espécies de alumínio presentes em experimento de métodos de preparo do solo, encontrou menor percentagem de Al³⁺ em área sob plantio direto, comparada à do plantio convencional. Também o pH do solo e o da solução do solo foram maiores no SPD, na camada de 0-5 cm.

O objetivo deste trabalho foi não só avaliar a eficiência da aplicação do calcário na superfície dos solos, em lavouras sob SPD, mas também estabelecer doses para sua recomendação.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois solos (Latossolo Vermelho-Escuro - LEd e Latossolo Roxo - LRd) foram selecionados com base no teor de argila e cujas características químicas, determinadas segundo o método descrito por Tedesco et al. (1995), constam no quadro 1. Os tratamentos foram fixados em função da recomendação de calcário, para pH 6,0, com base em amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm. Assim, avaliaram-se doses de calcário equivalentes a 1 SMP (incorporado e não incorporado), 1/2, 1/4, 1/8 e 1/16 SMP, aplicadas na superfície dos solos. A recomendação de calcário (1 SMP) indicou, para o LEd, a quantidade de 10,7 t ha⁻¹ e, para o LRd, a quantidade de 7,2 t ha⁻¹. Em junho de 1993, foi feita a aplicação manual do calcário na superfície de cada solo, tendo o tratamento com calcário incorporado recebido a metade da dose antes da aração e metade da dose após gradagem do solo. Usou-se calcário com 85% de PRNT, corrigindo-se as quantidades aplicadas a PRNT 100%.

Nos experimentos, testaram-se sete tratamentos, distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições. Para proporcionar adequada cobertura do solo, após a aplicação do calcário, semeou-se a aveia (*Avena sativa* L.) em ambos os locais, que foi colhida mas não incluída na análise dos dados. Foram cultivados, na seqüência, soja (BR 16), trigo (BR 23), milho (AG 9012), aveia (UPF 14), soja (BR 16) e cevada (BR 2), seguindo-se as recomendações técnicas para

Quadro 1. Características químicas dos solos utilizados nos experimentos, na profundidade de 20 cm

Local	Solo	Argila	pH H ₂ O	Índice SMP	P	K	M.O.	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NC ⁽¹⁾
		g kg ⁻¹			- mg dm ⁻³ -		g kg ⁻¹	— mmol _c dm ⁻³ —			t ha ⁻¹
Passo Fundo	LEd	380	4,7	4,9	8,1	124	21	23,1	18,8	6,6	10,7
Sarandi	LRd	580	4,6	5,3	45,1	118	25	18,8	24,5	9,5	7,2

⁽¹⁾Necessidade de calcário, pelo método SMP para pH 6,0.

cada cultura. Os rendimentos foram ajustados para 13% de umidade e, no caso do trigo, também para peso hectolítrico igual a 78. A classificação comercial dos grãos de cevada permitiu expressar os resultados em grãos de primeira qualidade. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias (Duncan, a 5%).

Amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm, antes da instalação dos experimentos e aos 11 e 34, e 11 e 35 meses da aplicação do calcário, nos solos LEd e LRd, respectivamente. Os dados de pH em água, alumínio, cálcio e magnésio trocáveis são apresentados.

A análise da relação custo/benefício foi realizada com os preços históricos dos produtos do período 1986-1995, em reais por tonelada, sendo: soja = 178,20; trigo = 143,70; milho = 106,50; aveia = 180,00, e cevada = 149,10. O custo do calcário foi estimado em R\$28,00 por tonelada, e o custo da incorporação ao solo foi de R\$29,16 por hectare. Considerou-se o financiamento do calcário por período de quatro anos, com taxa de juros de 20% ao ano, segundo as normas do Banco do Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rendimento de grãos

No LEd, todos os tratamentos que receberam calcário aumentaram, em termos absolutos, o rendimento de grãos de soja, sem haver diferenças estatísticas significativas entre eles (Quadro 2). Os acréscimos no rendimento de grãos variaram de 10,5 a 19,5%, valores relativamente baixos, devidos à alta produção do tratamento sem calcário. Confirmou-se a eficiência da aplicação do calcário na superfície do solo, relatada por Sá (1995) e, na dose máxima, a mesma eficiência para o calcário incorporado e não incorporado, fato já observado por Wolf et al. (1994). Para trigo, milho e aveia, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. A soja, no ano agrícola 1995/96, apresentou resposta ao calcário aplicado na superfície do solo em 1993 e ao calcário incorporado. Os acréscimos no rendimento de grãos variaram de 11 a 25%, sem haver diferença significativa entre calcário incorporado e aquele aplicado, na mesma dose, na superfície do solo (Quadro 2). Os resultados obtidos com cevada demonstram sua alta sensibilidade à acidez do solo, pois os maiores rendimentos foram observados com a maior dose de calcário, entretanto sem efeito do modo de aplicação do corretivo.

No primeiro cultivo, a soja, no LRd, apresentou ganhos no rendimento de grãos que variaram de 4,7 a 12,1%, sem haver, no entanto, diferença estatística

significativa entre as doses de 1/8, 1/4, 1/2 e 1 SMP aplicadas na superfície do solo (Quadro 3). Também não se observou diferença significativa entre o tratamento com calcário incorporado e o não incorporado. Tampouco foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nas culturas de trigo, milho e aveia. A soja, em 1995/96, apresentou acréscimos nos rendimentos de grãos, que variaram de 8,4 a 20,9%, em virtude da aplicação de calcário, sem haver diferenças significativas entre as doses de 1/4, 1/2 e 1 SMP aplicadas na superfície. Esta última também não diferiu do tratamento com calcário incorporado. Os resultados obtidos com cevada em 1996 mostraram acréscimos no rendimento de grãos, que variaram de 14,4 a 75,9%, confirmando a alta sensibilidade da cultura à acidez do solo.

À semelhança dos resultados obtidos no LEd, foram obtidas, no LRd, altas produtividades no tratamento sem calcário, apesar da alta saturação por alumínio nos dois locais (44,7%, no LEd, e 33,7%, no LRd). É possível que isso tenha ocorrido pelo fato de ambos os solos serem bem supridos com fósforo, pois é conhecida a relação de substituição do calcário pelo fósforo (Vidor, 1972; Ben & Dechen, 1996). No entanto, é possível também que o alumínio não tenha o mesmo efeito tóxico que apresenta no sistema convencional de preparo do solo (Salet, 1994), pois ácidos orgânicos derivados da decomposição dos resíduos culturais podem estar complexando o alumínio. Kretzschmar et al. (1991), após a execução de um trabalho com incubação de amostras de solo, relataram que a presença da palha de milho reduziu o teor de alumínio "lábil" em solo arenoso, o qual apresentou maior pH da solução, quando comparado com o tratamento onde a palha foi removida do solo (exceto raízes), em estudo de longa duração no campo. Também demonstraram que, nesse mesmo tratamento, a simples adição de palha moída de milho aumentou o pH da solução do solo e reduziu grandemente o alumínio "lábil".

Análise econômica

Em termos econômicos, pressupondo que o calcário fosse financiado por um período de quatro anos, a uma taxa de juros de 20% ao ano, as doses de calcário aplicadas na superfície do solo que dariam a melhor relação custo/benefício seriam de 1/16 SMP para o LEd, e de 1/8 SMP, para o LRd (Figura 1a), considerando apenas os cinco primeiros cultivos (excluindo a cevada). Com a inclusão da cevada nas análises, as doses para obtenção do maior retorno econômico passariam a ser 1/4 SMP e 1/2 SMP (Figura 1b). Observa-se que sempre há indicação de maior quantidade de calcário, em relação à dose recomendada, para o solo com maior teor de argila, pois solos argilosos têm maior poder tampão. A inclusão da cevada na análise da receita marginal aumentou a dose de maior retorno econômico, decorrente da alta resposta dessa cultura ao calcário, respondendo até a dose de 1/2 SMP, em ambos os solos.

Quadro 2. Rendimento de grãos de soja, trigo, milho, aveia e cevada, em lavoura cultivada no sistema plantio direto, em LED (Passo Fundo), em função da aplicação de doses de calcário

Tratamento	Efeito imediato			Efeito residual		
	Soja (1993/94)	Trigo (1994)	Milho (1994/95)	Aveia (1995)	Soja (1995/96)	Cevada (1996)
	kg ha ⁻¹					
1. Sem calcário	2.290 b ⁽¹⁾	1.773	4.307	1.588	2.548 b	1.515 d
2. 1 SMP incorporado ⁽²⁾	2.704 a	2.180	4.874	2.075	3.092 a	3.259 a
3. 1 SMP na superfície	2.737 a	1.875	4.940	1.954	3.184 a	3.241 a
4. 1/2 SMP na superfície	2.648 a	1.909	4.750	2.028	2.923 a	2.984 ab
5. 1/4 SMP na superfície	2.581 a	1.870	4.707	1.727	2.947 a	2.770 b
6. 1/8 SMP na superfície	2.545 a	1.896	4.786	1.674	2.825 ab	2.324 c
7. 1/16 SMP na superfície	2.531 a	1.944	4.750	1.803	2.831 ab	2.115 c
F	4,36*	1,26 ^{ns}	1,04 ^{ns}	2,29 ^{ns}	3,10*	31,52**
C.V. (%)	4,78	10,09	7,29	11,62	6,96	7,67

⁽¹⁾Médias seguidas por uma mesma letra não são estatisticamente diferentes, pelo teste de Duncan a 5%. ⁽²⁾1 SMP = 10,7 t ha⁻¹ de calcário. * significativo a 5%. ** significativo a 1%. ^{ns} não-significativo.

Quadro 3. Rendimento de grãos de soja, trigo, milho, aveia e cevada, em lavoura cultivada no sistema plantio direto, em LRd (Sarandi), em função da aplicação de doses de calcário

Tratamento	Efeito imediato			Efeito residual		
	Soja (1993/94)	Trigo (1994)	Milho (1994/95)	Aveia (1995)	Soja (1995/96)	Cevada (1996)
	kg ha ⁻¹					
1. Sem calcário	2.841 c ⁽¹⁾	2.172	6.464	1.550	2.775 c	2.018 d
2. 1 SMP incorporado ⁽²⁾	3.185 a	2.337	7.359	1.622	3.260 a	3.550 a
3. 1 SMP na superfície	3.181 a	2.393	7.308	1.637	3.336 a	3.437 a
4. 1/2 SMP na superfície	3.060 ab	2.628	7.318	1.571	3.355 a	3.365 ab
5. 1/4 SMP na superfície	3.061 a	2.415	7.304	1.563	3.280 a	3.003 bc
6. 1/8 SMP na superfície	3.016 abc	2.523	7.378	1.629	3.097 ab	2.737 c
7. 1/16 SMP na superfície	2.975 bc	2.396	7.464	1.579	3.008 b	2.309 d
F	3,63*	2,50 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,18 ^{ns}	19,58**	19,42**
C.V. (%)	3,58	6,49	6,43	9,06	2,62	7,95

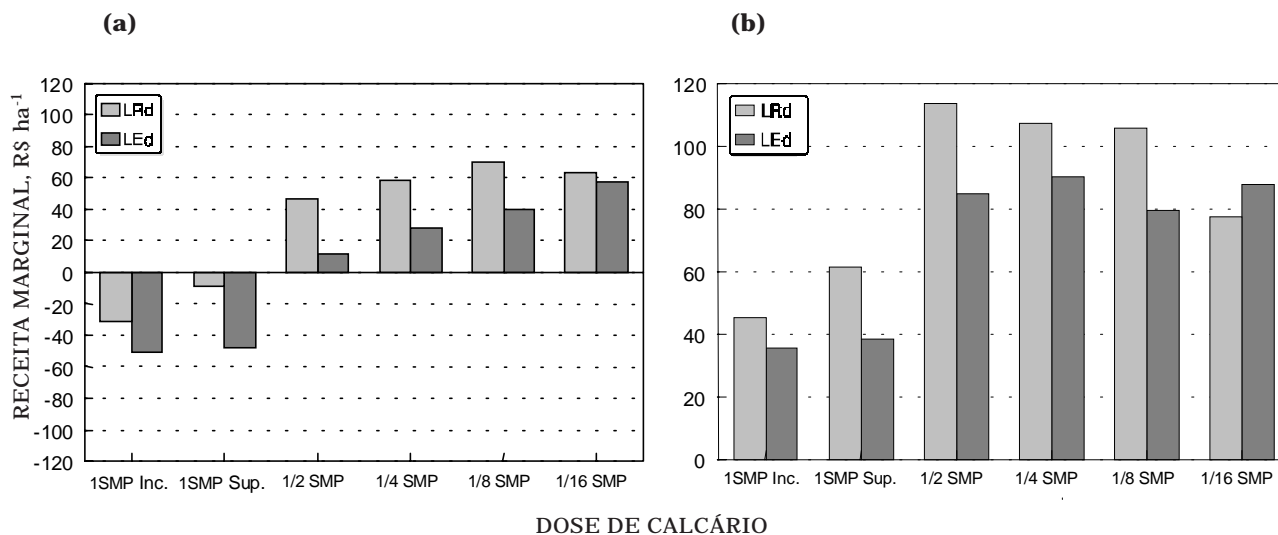
⁽¹⁾Médias seguidas por uma mesma letra não são estatisticamente diferentes, pelo teste de Duncan a 5%. ⁽²⁾1 SMP = 7,2 t ha⁻¹ de calcário. * significativo a 5%. ** significativo a 1%. ^{ns} não-significativo.

Efeito sobre algumas características químicas

Os valores observados de pH do solo e de Al³⁺ antes da instalação do experimento e aos 11 e 34 meses após a aplicação do calcário no LED encontram-se no quadro 4.

Observa-se pequeno decréscimo nos valores do pH no tratamento sem calcário, entre 1993 e 1996, nas duas primeiras profundidades, possivelmente causado pela fertilização nitrogenada das gramíneas

(trigo, milho e aveia) e pela decomposição dos resíduos culturais. O aumento do pH nos diferentes tratamentos foi gradativo, na camada de 0-5 cm, principalmente, e nos tratamentos com dose igual ou superior a 1/4 SMP, pois os maiores valores foram observados na última amostragem (1996). Nesta, o tratamento com calcário incorporado foi o que apresentou a maior redução do teor de Al³⁺, em todas as camadas de solo, e os maiores valores de pH em água, exceto para a camada de 0-5 cm, na qual o



Inc.: Calcário incorporado. Sup.: Calcário aplicado na superfície dos solos. 1 SMP: 7,2 t ha⁻¹ (LRd) e 10,7 t ha⁻¹ (LEd).

Figura 1. Receita marginal líquida média, anual, da aplicação de calcário em lavoura sob SPD, considerando os cinco primeiros cultivos (soja, trigo, milho, aveia e soja) (a), ou todos os cultivos, incluindo a cevada (b).

Quadro 4. Valores de pH em água e de alumínio trocável observados no LEd (Passo Fundo), antes, aos 11 e 34 meses da aplicação do calcário

Tratamento	Profundidade	pH em água			Al ³⁺		
		1993	1994	1996	1993	1994	1996
	cm	mmol _c dm ⁻³					
Testemunha	0-5	5,0	5,0	4,5	10,0	13,4	9,8
	5-10	4,9	4,9	4,6	12,9	17,4	13,5
	10-20	4,7	4,8	4,8	29,5	25,1	28,5
	0-20	4,8	4,9	4,7	19,6	19,4	20,1
1 SMP incorporado	0-5	5,1	6,1	6,4	7,5	0,2	0,0
	5-10	5,1	5,8	6,2	14,0	1,7	0,0
	10-20	4,7	4,7	5,2	30,6	28,4	13,5
	0-20	5,0	5,2	5,6	18,6	7,2	3,4
1 SMP na superfície	0-5	4,9	6,3	6,7	13,9	0,0	0,0
	5-10	5,0	5,3	5,6	15,2	12,0	4,7
	10-20	4,7	4,8	5,1	26,8	23,1	14,0
	0-20	4,8	5,2	5,4	17,7	7,9	4,4
1/2 SMP na superfície	0-5	5,0	5,7	6,0	10,8	5,3	0,0
	5-10	4,7	5,3	5,2	19,6	12,6	9,7
	10-20	4,7	4,6	4,7	29,5	31,2	28,4
	0-20	4,9	5,0	5,0	19,6	16,4	15,5
1/4 SMP na superfície	0-5	5,0	5,3	5,5	15,2	2,5	1,3
	5-10	4,8	4,8	5,2	17,8	18,7	10,2
	10-20	4,5	4,6	4,8	32,6	29,2	29,6
	0-20	4,7	4,8	5,0	19,8	17,7	18,3
1/8 SMP na superfície	0-5	5,1	5,2	5,2	14,9	6,6	8,7
	5-10	5,0	4,8	5,0	16,3	20,1	14,5
	10-20	4,7	4,6	4,8	28,0	33,8	29,0
	0-20	4,8	4,8	4,9	21,2	21,4	18,9
1/16 SMP na superfície	0-5	4,9	5,0	4,8	16,1	11,8	14,8
	5-10	4,8	4,9	4,8	22,2	15,1	19,7
	10-20	4,6	4,6	4,8	26,8	18,6	24,2
	0-20	4,6	4,8	4,8	20,7	18,0	19,3

maior valor foi do tratamento com 1 SMP na superfície, com pH igual a 6,7. Resultados semelhantes foram obtidos por Wolf et al. (1994), que relataram aumento de pH na camada de 0-5 cm a valores superiores a 6,0. De maneira geral, a neutralização do Al^{3+} na camada de 0-5 cm foi proporcional à quantidade de calcário aplicada na superfície, havendo pouca variação do teor de Al^{3+} no tratamento com 1/16 SMP na superfície. Alterações no teor de Al^{3+} na camada de 5-10 cm também foram observadas, principalmente nos tratamentos com 1/4 SMP, 1/2 SMP e 1 SMP aplicados na superfície, observando-se variações no pH do solo em torno de meia unidade, na mesma camada de solo, para esses tratamentos. Dados semelhantes foram obtidos também no LRd (Quadro 5), tendo-se observado, em 1996, boa relação entre as doses de calcário aplicadas na superfície e os teores de Al^{3+} na camada de 0-20 cm.

No LRd, o maior valor de pH em água foi observado na camada de 0-5 cm do tratamento com 1 SMP aplicado na superfície, cujo valor, em 1996, foi de 6,5. Os resultados de aplicação de calcário na

superfície confirmam a baixa mobilidade do calcário no solo, observada por Koch & Estes (1986) e por Sá (1995). Para esses autores, o tratamento com calcário incorporado revelou neutralização total do Al^{3+} na camada de 5-10 cm, o que não ocorreu nos tratamentos com calcário aplicado na superfície. No entanto, Oliveira & Pavan (1996) encontraram reduções nos teores de Al^{3+} até a profundidade de 40 cm, 32 meses após a aplicação do calcário na superfície do solo, o que é surpreendente, pois, normalmente, há pequena migração do calcário no perfil do solo. Mesmo a presença de maior número de macroporos, no plantio direto, causada por insetos, raízes e outros processos, não é suficiente para explicar a acentuada movimentação do calcário no solo. A correção da acidez somente na camada superficial de solo, causada pela não-incorporação do calcário, aparentemente não apresenta dificuldades para o cultivo de espécies anuais em áreas anteriormente calcariadas pelo sistema convencional e que apresentam nível adequado de nutrientes, exceto, talvez, para períodos de secas prolongadas.

Quadro 5. Valores de pH em água e de alumínio trocável observados no LRd (Sarandi), antes, aos 11 e 35 meses da aplicação do calcário

Tratamento	Profundidade	pH em água			Al^{3+}		
		1993	1994	1996	1993	1994	1996
	cm	mmol _c dm ⁻³					
Testemunha	0-5	4,9	4,6	4,6	20,9	19,4	20,1
	5-10	4,9	4,5	4,6	26,2	27,7	25,8
	10-20	5,0	4,6	4,7	26,9	30,0	27,7
	0-20	4,9	4,5	4,7	24,5	30,2	24,0
1 SMP incorporado	0-5	4,8	6,0	6,1	20,2	0,0	0,0
	5-10	4,9	5,4	5,9	25,6	5,4	0,5
	10-20	4,9	4,8	5,2	26,9	21,4	10,2
	0-20	4,8	5,2	5,8	23,8	5,0	0,8
1 SMP na superfície	0-5	4,8	5,8	6,5	19,9	1,1	0,0
	5-10	4,8	4,8	5,2	25,5	19,1	14,7
	10-20	4,8	4,7	5,0	26,8	23,5	17,2
	0-20	4,8	4,9	5,4	23,9	9,2	8,4
1/2 SMP na superfície	0-5	4,9	5,4	5,6	20,3	2,5	0,5
	5-10	4,8	4,7	5,0	25,0	22,1	15,1
	10-20	4,8	4,5	4,9	27,0	25,1	22,2
	0-20	4,8	4,8	5,2	24,9	16,6	12,6
1/4 SMP na superfície	0-5	4,8	5,0	5,3	20,5	7,3	6,2
	5-10	4,8	4,7	4,9	24,2	20,2	20,5
	10-20	4,8	4,6	4,8	26,0	27,0	25,5
	0-20	4,8	4,7	4,8	23,7	17,9	19,2
1/8 SMP na superfície	0-5	4,8	5,0	5,0	19,5	9,2	12,6
	5-10	4,8	4,6	4,9	23,9	27,5	21,0
	10-20	4,9	4,8	4,8	25,9	31,4	23,9
	0-20	4,8	4,6	4,8	24,1	25,0	21,4
1/16 SMP na superfície	0-5	4,8	4,9	4,6	20,2	10,9	20,0
	5-10	4,9	4,6	4,6	23,9	25,5	25,0
	10-20	4,8	4,6	4,6	25,6	26,6	27,2
	0-20	4,7	4,6	4,5	23,5	24,9	26,0

Os teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no solo, nas amostragens realizadas antes da aplicação do calcário e 11 e 34 meses após a aplicação são apresentados no quadro 6, para o LEd. Observou-se grande aumento nos teores de Ca^{2+} , devido aos tratamentos, já na amostragem realizada 11 meses após a aplicação do calcário, sendo os maiores aumentos observados na camada de 0-5 cm e proporcionais às quantidades de calcário aplicadas na superfície do solo. De modo geral, os teores observados na amostragem realizada em 1994 mantiveram-se na amostragem de 1996, exceto para os tratamentos com 1/16 SMP e 1/8 SMP, que apresentaram menores teores na última amostragem, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Os dados permitem inferir que, na prática, não houve dissolução do calcário após a amostragem de 1994, ou, se houve, ela foi contrabalançada pela retirada de Ca^{2+} pelas culturas. Para o Mg^{2+} houve tendências semelhantes às observadas para o Ca^{2+} , observando-se acréscimos significativos nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, em

relação à testemunha, tanto na amostragem de 1994 como na de 1996.

Os teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} observados no LRd são apresentados no quadro 7 e mostram similaridade com os observados para o LEd. No LRd, no entanto, houve redução do teor de Ca^{2+} em vários tratamentos, na amostragem de 1996, comparada com a de 1994. A retirada de Ca^{2+} pelas culturas é a provável causa dessa redução. Semelhantemente ao ocorrido com o pH deste solo, os maiores acréscimos de Ca^{2+} e de Mg^{2+} foram observados nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, mas pequenos aumentos também ocorreram na camada de 10-20 cm, especialmente na amostragem de 1994. Assim, é possível esperar a correção da acidez do subsolo com o tempo, para este solo com alto teor de argila.

A distribuição de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no perfil dos solos, pela aplicação de calcário na superfície, é semelhante àquela descrita por Sá (1995), mas conflita com as observações de Oliveira & Pavan (1996).

Quadro 6. Valores de cálcio e de magnésio trocáveis observados no LEd, antes, aos 11 e 34 meses da aplicação do calcário

Tratamento	Profundidade	Ca^{2+}			Mg^{2+}		
		1993	1994	1996	1993	1994	1996
	cm	$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
Testemunha	0-5	29,3	33,5	23,4	14,6	16,9	13,4
	5-10	28,0	27,6	27,2	15,1	13,5	14,8
	10-20	15,4	20,6	20,3	8,0	11,4	13,5
	0-20	17,9	24,7	19,6	11,5	13,4	12,4
1 SMP incorporado	0-5	36,2	60,1	59,2	19,4	39,4	42,5
	5-10	35,1	51,7	52,1	19,6	34,9	42,9
	10-20	20,2	17,5	31,5	14,2	12,2	30,0
	0-20	21,0	35,5	37,3	14,9	23,6	33,7
1 SMP na superfície	0-5	27,1	64,8	66,8	14,8	46,2	56,0
	5-10	27,5	32,0	41,0	14,3	21,3	35,9
	10-20	16,3	22,5	27,4	9,4	13,3	20,2
	0-20	22,2	39,7	40,8	13,1	26,2	32,0
1/2 SMP na superfície	0-5	37,5	52,6	56,6	19,8	35,3	41,8
	5-10	38,9	31,7	29,6	19,7	21,0	18,2
	10-20	21,8	14,8	13,4	12,0	7,6	7,7
	0-20	20,7	32,4	30,6	14,2	20,8	19,8
1/4 SMP na superfície	0-5	28,2	46,0	50,3	13,4	28,8	29,0
	5-10	26,4	26,5	31,6	12,7	14,4	14,5
	10-20	20,7	17,0	17,0	8,0	8,7	11,1
	0-20	21,5	26,5	30,7	9,1	14,2	16,8
1/8 SMP na superfície	0-5	33,6	38,5	33,2	15,8	22,8	15,3
	5-10	27,8	24,3	20,2	14,6	12,5	8,0
	10-20	17,9	12,8	15,6	10,2	7,2	5,6
	0-20	19,3	23,8	22,5	12,7	13,3	9,2
1/16 SMP na superfície	0-5	23,8	32,2	28,6	12,4	17,2	13,0
	5-10	26,4	29,4	22,3	14,0	15,3	9,1
	10-20	17,8	20,4	18,9	10,0	11,1	7,2
	0-20	18,7	27,9	24,5	13,2	14,2	10,4

Quadro 7. Valores de cálcio e magnésio trocáveis observados no LRd, antes, aos 11 e 35 meses da aplicação do calcário

Tratamento	Profundidade	Ca ²⁺			Mg ²⁺		
		1993	1994	1996	1993	1994	1996
	cm	mmol _c dm ⁻³					
Testemunha	0-5	27,6	27,1	20,5	9,3	8,7	8,8
	5-10	23,7	20,9	16,9	8,6	6,4	7,1
	10-20	19,8	19,2	17,6	7,6	6,0	7,8
	0-20	25,2	21,4	19,0	7,9	6,4	7,9
1 SMP incorporado	0-5	27,0	75,5	57,5	10,4	43,5	38,6
	5-10	21,3	51,0	20,7	7,6	30,4	36,7
	10-20	16,1	26,8	27,9	6,2	11,9	21,9
	0-20	23,9	49,3	46,1	8,1	27,4	32,4
1 SMP na superfície	0-5	22,8	65,5	62,9	8,0	38,9	47,4
	5-10	17,4	32,2	28,6	6,2	13,1	20,1
	10-20	15,6	25,4	22,6	5,5	9,2	15,4
	0-20	20,4	44,5	33,6	6,4	23,4	24,8
1/2 SMP na superfície	0-5	30,3	56,1	53,6	10,8	31,4	33,7
	5-10	21,9	29,4	26,4	7,5	11,3	17,3
	10-20	16,4	23,8	17,9	5,6	8,4	11,4
	0-20	23,5	33,8	27,2	8,0	14,5	18,6
1/4 SMP na superfície	0-5	25,9	47,5	44,6	8,4	21,2	25,0
	5-10	24,3	34,3	40,4	7,8	12,4	17,3
	10-20	18,7	24,6	18,9	6,8	8,6	11,2
	0-20	23,6	31,0	31,3	6,7	11,1	15,0
1/8 SMP na superfície	0-5	26,1	44,1	33,3	9,5	20,3	15,0
	5-10	24,5	24,2	24,1	8,5	8,9	11,4
	10-20	24,2	17,4	20,3	9,0	5,6	9,3
	0-20	22,7	23,9	22,6	7,6	9,0	10,8
1/16 SMP na superfície	0-5	25,2	40,0	27,0	8,7	16,0	10,3
	5-10	23,2	25,7	19,4	8,2	8,4	7,6
	10-20	16,1	23,4	17,7	5,7	7,3	6,6
	0-20	19,9	26,0	23,4	8,5	8,8	8,4

CONCLUSÕES

1. A aplicação de calcário, sem incorporação ao solo, no sistema plantio direto, influencia principalmente as características químicas da camada de 0-5 cm e, em menor grau, da camada de 5-10 cm.

2. Não há inconveniência no uso de calcário sem incorporação ao solo, no sistema plantio direto, em áreas que tenham sido anteriormente calcariadas pelo método convencional e que apresentem bom nível de nutrientes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng^o-Agr^o Ivo Ambrosi, pelo auxílio nas análises econômicas, e aos Técnicos Agrícolas, N. Faganello e M. Comachio, pela execução das atividades de campo.

LITERATURA CITADA

BEN, J.R. & DECHEN, A.R. Comportamento de genótipos de trigo em relação a fósforo no solo. R. Bras. Ci. Solo, 20:77-82, 1996.

BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W. & THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and conventionally tilled corn. Agron J., 70:322-326, 1978.

COVENTRY, D.R.; HIRTH, J.R. & REEVES, T.G. Interactions of tillage and lime in wheat-subterranean clover rotation on an acidic sandy clay loam in southeastern Australia. Soil Til. Res., 25:53-65, 1992.

KOCH, D.W. & ESTES, G.O. Liming rate and method in relation to forage establishment - crop and soil chemical responses. Agron. J., 78:567-571, 1986.

KRETZSCHMAR, R.M.; HAFNER, H.; BATIONO, A. & MARSCHNER, H. Long and short-term effects of crop residues on aluminum toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. Plant Soil, 136:215-223, 1991.

MOSCHLER, W.W.; MARTENS, D.C.; RICH, C.I. & SHEAR, G.M. Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. Agron. J., 65:781-783, 1973.

OLIVEIRA, E.L. & PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. Soil Til. Res., 38:47-57, 1996.

- RECHCIGL, J.E.; WOLF, D.D.; RENEAU Jr., R.B. & KROONTJE, W. Influence of surface liming on the yield and nutrient concentration of alfalfa established using no-tillage techniques. *Agron. J.*, 77:956-959, 1985.
- SÁ, J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. In: FUNDAÇÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA, ed. Curso sobre Manejo do Solo no Sistema Plantio Direto. Castro, 1995. p.73-107.
- SALET, R.L. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio-direto. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 110p. (Tese de Mestrado)
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C. & BISSANI, C.A. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 215p. (Boletim Técnico de Solos, 5)
- VIDOR, C. Toxidez de alumínio e manganês e suas relações com a nodulação, rendimento e absorção de manganês por *Glycine max* (L.) Merrill. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1972. 71p. (Tese de Mestrado)
- WOLF, D.D.; STARNER, D.E. & DiPAOLA, L.G. No-till alfalfa production: Limestone amendment for acid soil. *J. Prod. Agric.*, 7:490-494, 1994.