

## Comissão 3.2 - Corretivos e fertilizantes

# APLICAÇÃO SUPERFICIAL DE CALCÁRIO COM DIFERENTES TEORES DE MAGNÉSIO E GRANULOMETRIAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Maik Barbosa Rodrighero<sup>(1)</sup>, Gabriel Barth<sup>(2)</sup> e Eduardo Fávero Caires<sup>(3)\*</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

<sup>(2)</sup> Fundação ABC Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário, Área de Solos e Nutrição de Plantas, Castro, Paraná, Brasil.

<sup>(3)</sup> Universidade Estadual de Ponta Grossa, Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

\* Autor correspondente.

E-mail: efcaires@uepg.br

## RESUMO

A correção da acidez do solo no sistema plantio direto (SPD) é feita por meio da aplicação de calcário na superfície sem incorporação. Com a hipótese de que a fonte e granulometria dos corretivos interferem na velocidade de reação no solo em curto prazo e na resposta das culturas à calagem na superfície em SPD, foram realizados dois experimentos, sendo um em Latossolo Vermelho Distrófico textura muito argilosa e outro em Neossolo Litólico Húmico textura franco-arenosa, no período de 2010 a 2012. O delineamento empregado, em cada experimento, foi em blocos completos ao acaso, no esquema fatorial  $2 \times 2 \times 4$ , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de duas fontes de calcário, calcítico (25-50 g kg<sup>-1</sup> MgO) e dolomítico (160-180 g kg<sup>-1</sup> MgO), duas faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT), faixa B (PRNT de 60 a 75 %) e faixa D (PRNT > 90 %), e quatro doses de calcário na superfície, sendo um tratamento-controle sem calagem e três doses estimadas para elevar a saturação por bases do solo (0,00-0,20 m), a 50, 70 e 90 %. Nos dois experimentos, o calcário foi aplicado a lança sobre a superfície do solo, em agosto de 2010. Realizaram-se dois cultivos em 2010/11 e 2011/12, com milho e soja, no Latossolo Vermelho Distrófico, e soja e milho, no Neossolo Litólico Húmico, respectivamente. A aplicação superficial de calcário nos dois solos, após 12 meses, proporcionou redução da acidez na camada de 0,00-0,05 m e, em menor grau, na de 0,05-0,10 m. A amenização da acidez nas camadas da superfície foi mais acentuada com o emprego de doses mais elevadas de calcário calcítico e de corretivo com granulometria mais fina. A calagem superficial aumentou as concentrações de Ca-foliar com a utilização de calcário calcítico e de Mg-foliar com o uso de calcário dolomítico, e reduziu os teores

Recebido para publicação em 13 de abril de 2015 e aprovado em 6 de julho de 2015.

DOI: 10.1590/01000683rbc20150036

foliares de Mn e Zn, independentemente da fonte de calcário, nas culturas de milho e soja. As produtividades de grãos de milho e soja no Latossolo Vermelho Distrófico e Neossolo Litólico Húmico aumentaram com as doses de calcário, mas não foram influenciadas pelas fontes e faixas de PRNT dos corretivos. A calagem superficial é uma prática efetiva e importante para maximizar a produtividade de grãos das culturas em SPD, independentemente do teor de Mg e da granulometria dos corretivos.

**Palavras-chave:** acidez do solo, alumínio, cálcio, reatividade do calcário, poder relativo de neutralização total.

**ABSTRACT: SURFACE APPLICATION OF LIME WITH DIFFERENT MAGNESIUM CONTENTS AND PARTICLE SIZES UNDER A NO-TILL SYSTEM**

*To reduce acidity in no-till systems, lime is broadcast on the soil surface without incorporation. Two experiments were carried out, one in a clayey Latossolo Vermelho Distrófico (Rhodic Hapludox) and another in a sandy loam Neossolo Litólico Húmico (Lithic Hapludoll), to test the hypothesis that the source and particle size of lime influence soil reaction in the short term, and crop response to surface liming under a no-till system. A randomized complete block design was used in a 2 × 2 × 4 factorial arrangement with three replications for each experiment. The treatments consisted of two sources of lime, calcitic (25-50 g kg<sup>-1</sup> MgO) and dolomitic (160-180 g kg<sup>-1</sup> MgO); two ranges of effective calcium carbonate equivalent (ECCE) of lime material, range B (ECCE 60-75 %) and range D (ECCE > 90 %); and four rates of lime on the surface, one control treatment without lime and three rates estimated to raise the base saturation of the topsoil (0.00-0.20 m) to 50, 70, and 90 %. In both experiments, lime was surface applied in August 2010. During the spring-summer season in 2010/11 and 2011/12, corn and soybean were grown on the Latossolo Vermelho Distrófico, and soybean and corn on the Neossolo Litólico Húmico, respectively. Surface application of lime in both soils after 12 months led to reduction in soil acidity mainly in the 0.00-0.05 m layer and, to a lesser extent, in the 0.05-0.10 m layer. Calcitic lime at higher rates and lime composed of finer particles showed a greater reduction in acidity in the soil surface layers. Surface liming increased the Ca-leaf content, especially with the use of calcitic lime, and Mg-leaf content, mainly with the use of dolomitic lime. It also reduced Mn and Zn contents in the leaves, regardless of the source of lime, in the corn and soybean crops. Grain yields of corn and soybean in both the clayey Latossolo Vermelho Distrófico and the sandy loam Neossolo Litólico Húmico increased with increasing lime rates, but were not affected by the sources and ECCE ranges of lime. The surface application of lime is an effective and important practice to maximize crop grain yields under no-till systems, regardless of magnesium content and particle size of the lime.*

*Keywords:* soil acidity, aluminum, calcium, reactivity of lime, effective calcium carbonate equivalent (ECCE).

## INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são naturalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável (Ciotta et al., 2004). Em solos ácidos, além da toxicidade do Al, é comum ocorrer também deficiência de Ca, cujas condições podem causar impedimento à penetração das raízes (Fageria, 2001). A acidez do solo também prejudica a disponibilidade de N, P, K, Mg, S e Mo para as plantas e pode causar toxicidade de Mn.

O calcário é o corretivo de acidez mais utilizado na agricultura, pois é um produto de ocorrência natural, disponível com relativa frequência, abundância e boa distribuição geográfica; é um produto de baixa solubilidade em água, e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e da umidade do solo. As bases da calagem têm sido definidas em vários estudos, incluindo

trabalhos que comparam a eficiência entre os calcários calcítico e dolomítico, bem como entre os carbonatos de Ca e Mg na forma de sais puros na correção da acidez do solo e no suprimento de Ca e Mg para as plantas (Tedesco e Gianello, 2000; Alcarde e Rodella, 2003).

Por causa da baixa solubilidade em água dos corretivos da acidez, a granulometria assume papel importante, uma vez que sua dissolução fica na dependência de seu contato com o solo (Gonçalves et al., 2011). O tamanho das partículas condiciona a taxa de reatividade do calcário, uma vez que a velocidade de neutralização depende da área superficial do corretivo em contato com o solo. Assim, quanto mais fino o corretivo, mais rápida será sua reação, desde que o solo esteja úmido (Alcarde et al., 1989; Tedesco e Gianello, 2000; Gonçalves et al., 2011).

O sistema plantio direto (SPD) tem se destacado como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a sustentabilidade da agricultura em regiões tropicais e subtropicais, contribuindo para minimizar perdas de solo e nutrientes por erosão. No estabelecimento do SPD, a correção da acidez do solo deve ser feita por meio de incorporação de calcário na camada arável (Costa e Rosolem, 2007; Bortoluzzi et al., 2014). Depois do sistema já estabelecido, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. Em razão da baixa solubilidade do calcário e dos produtos de sua reação no solo, a calagem superficial normalmente não apresenta efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo, particularmente em solos com cargas variáveis (Amaral e Anghinoni, 2001; Ernani et al., 2004). Porém, a calagem superficial em SPD pode ter ação na correção da acidez em camadas subsuperficiais, dependendo de condições favoráveis para formação e migração de  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  e  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$  para as camadas mais profundas (Oliveira e Pavan, 1996; Caires et al., 2005); e deslocamento vertical de partículas finas de calcário mediante o movimento descendente de água (Amaral et al., 2004).

Considerando que a fonte e granulometria dos corretivos podem interferir na velocidade de reação no solo e na resposta das culturas à calagem na superfície, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação superficial de doses de calcário calcítico e dolomítico, com diferentes faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT), na correção da acidez de dois solos com diferentes classes texturais (Latossolo Vermelho e Neossolo Litólico Húmico), na nutrição das plantas e produtividade de grãos de milho e soja em SPD.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em áreas de lavoura comercial do município de Tibagi, região centro-sul do Paraná, em dois solos com

diferentes classes texturais, sendo um na Fazenda Tapejara (coordenadas 24° 40' 34,7" S e 50° 26' 52,5" W, e altitude de 1.175 m) e outro na Fazenda Água Nova (coordenadas 24° 42' 40" S e 50° 14' 20" W, e altitude de 1.160 m). O solo da Fazenda Tapejara foi um Latossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2013) textura muito argilosa, manejado há cinco anos em SPD; e o da Fazenda Água Nova foi um Neossolo Litólico Húmico (Embrapa, 2013) textura franco-arenosa, manejado há seis anos em SPD. Os resultados das análises químicas (Raij et al., 2001) e granulométricas (Embrapa, 1997) dos solos, na camada de 0,00-0,20 m, antes da implantação dos experimentos nessas fazendas, estão apresentados no quadro 1.

O clima da região é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico, tipo Cfb, conforme classificação de Köppen, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C e no mais quente abaixo de 22 °C, verões frescos e sem estação seca definida.

Nos dois experimentos, o delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, no esquema fatorial  $2 \times 2 \times 4$ , com três repetições. O tamanho das parcelas foi de  $9 \times 7$  m. Os tratamentos foram constituídos de duas fontes de calcário: calcítico (25-50 g  $\text{kg}^{-1}$  MgO) e dolomítico (160-180 g  $\text{kg}^{-1}$  MgO), duas faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT): faixa B (PRNR de 60 a 75 %) e faixa D (PRNT > 90 %) e quatro doses de calcário, sendo um controle sem calagem e três doses calculadas para elevar a saturação por bases do solo, na camada de 0,00-0,20 m, a aproximadamente 50, 70 e 90 %. As doses de calcário empregadas (PRNT = 100 %) na Fazenda Tapejara foram 0; 2,25; 4,50; e 6,75 Mg  $\text{ha}^{-1}$ ; e na Fazenda Água Nova, 0; 2,60; 5,20; e 7,80 Mg  $\text{ha}^{-1}$ . A aplicação de calcário, nos dois experimentos, foi a lançar sobre a superfície, em agosto de 2010. As características dos calcários utilizados nos dois experimentos estão apresentadas no quadro 2. As determinações de granulometria, poder de neutralização (PN), reatividade (RE) e PRNT foram realizadas de acordo com métodos oficiais de análise de corretivos (Brasil, 2007).

Na Fazenda Tapejara, cultivaram-se milho (*Zea mays* L.), em 2010/11; aveia-preta (*Avena*

**Quadro 1. Caracterizações química e granulométrica dos solos, na camada de 0,00-0,20 m, antes da implantação dos experimentos**

pH(CaCl <sub>2</sub> )	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P resina	C-org	V	Argila	Silte	Areia
			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	%		g kg <sup>-1</sup>	
Fazenda Tapejara – Latossolo Vermelho Distrófico											
4,4	78,0	7,5	21,0	8,5	3,1	19,2	23	29,5	713	220	67
Fazenda Água Nova – Neossolo Litólico Húmico											
4,4	93,5	6,5	30,5	8,5	2,9	26,1	27	31,0	184	84	732

C-org: carbono orgânico; V: saturação por bases.

**Quadro 2. Características dos corretivos da acidez utilizados nos experimentos**

Característica	Calcítico (Faixa B)	Dolomítico (Faixa B)	Calcítico (Faixa D)	Dolomítico (Faixa D)
CaO (g kg <sup>-1</sup> )	398,7	281,2	456,1	252,4
MgO (g kg <sup>-1</sup> )	49,8	161,5	28,8	176,3
Retido na peneira 10 (2,00 mm) (%)	0,8	0,1	0,1	0,1
Retido na peneira 20 (0,84 mm) (%)	11,8	10,4	0,3	2,7
Retido na peneira 50 (0,30 mm) (%)	27,9	24,1	0,6	16,7
Passante na peneira 50 (0,30 mm) (%)	59,5	65,4	99,0	80,5
Poder de neutralização (PN) (%)	85,4	90,4	90,8	101,7
Reatividade (RE) (%)	78,6	81,9	99,4	91,0
Poder relativo de neutralização total (PRNT) (%)	67,1	74,0	90,3	92,5

*strigosa* Schreb) no outono/inverno de 2011; e soja (*Glycine max* L. Merrill) em 2011/12. A semeadura do milho, híbrido Pioneer 30F53, foi realizada em outubro de 2010, após cultivo de aveia-preta para a formação de palha, na densidade de três sementes por metro e espaçamento de 0,45 m entre as linhas, visando uma população de 65 mil plantas por hectare. A adubação utilizada na semeadura do milho foi de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A adubação nitrogenada em cobertura foi realizada aos 35 dias após a semeadura, com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia. A semeadura da soja, cv. BRS 284, foi feita em novembro de 2011, após cultivo de aveia-preta para formar a palha, na densidade de 12 sementes por metro e espaçamento de 0,5 m entre as linhas, visando uma população de 240 mil plantas por hectare. As sementes de soja foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*. A soja foi semeada sem adição de fertilizantes, tendo-se aplicado 75 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de KCl, em cobertura. Destaca-se que houve aplicação de 303 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 14-34-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na cultura antecessora de aveia-preta.

Na Fazenda Água Nova, cultivaram-se soja em 2010/11, aveia-preta no outono/inverno de 2011, e milho em 2011/12. Fez-se a semeadura da soja, cv. NA5909 RG, no fim de outubro de 2010, após cultivo de aveia-preta para a formação de palha, na densidade de 10 sementes por metro e espaçamento de 0,45 m entre as linhas, visando uma população de 220 mil plantas por hectare. As sementes de soja foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*. A adubação empregada na semeadura da soja foi de 130 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. A semeadura do milho, cv. Waxy, foi feita em outubro de 2011, após o cultivo de aveia-preta para a formação de palha, na densidade de três sementes por metro e espaçamento de 0,45 m entre as linhas, visando uma população de 65 mil plantas por hectare. A adubação empregada na semeadura do

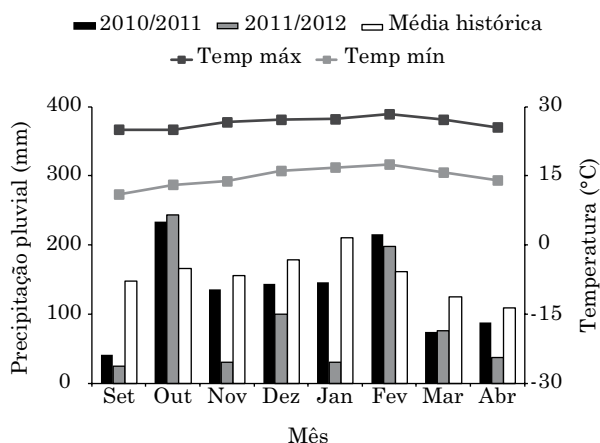
milho foi de 33 kg ha<sup>-1</sup> de N, 112 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Fez-se a adubação em cobertura aos 40 dias após a semeadura, com 90 kg ha<sup>-1</sup> de N e 90 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, por meio da formulação 25-00-25 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O).

As culturas de soja e milho foram conduzidas de modo a permitir o adequado desenvolvimento das plantas. O manejo e os tratos culturais foram realizados em conformidade com as recomendações técnicas de cada cultura.

A precipitação pluvial e as temperaturas médias ocorridas durante o período em que as culturas do milho e da soja estiveram no campo, em 2010/11 e 2011/12, estão apresentadas na figura 1. A precipitação pluvial total durante todo o ciclo de desenvolvimento das culturas de milho e soja foi da ordem de 1.040 mm, em 2010/11, e de 1.380 mm, em 2011/12. A temperatura média do ar no decorrer do ciclo das culturas de milho e soja, nos dois anos, foi de 18 °C. A precipitação pluvial ocorrida desde a aplicação dos corretivos até o momento da amostragem do solo foi de 1.600 mm.

Amostras de solo foram coletadas, nos dois experimentos, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, após 12 meses da aplicação dos corretivos da acidez. As amostras foram coletadas por meio de trado calador, retirando-se 16 subamostras por parcela para constituir uma amostra composta. Depois de coletadas, as amostras foram colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 40 °C por 72 h e, após, foram moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Determinaram-se o pH em CaCl<sub>2</sub> e os teores de H+Al, Ca, Mg e K, de acordo com os métodos descritos em Raij et al. (2001). A saturação por bases (V) foi calculada pela relação entre a soma de bases (SB = Ca + Mg + K) e a CTC a pH 7,0 [V = 100 × SB/SB + (H+Al)].

Amostras de folhas foram coletadas durante o florescimento das culturas de milho e soja, no segundo cultivo (2011/12), em 30 plantas por parcela. No caso do milho, retirou-se o terço



**Figura 1. Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas, médias mensais, ocorridas durante o período de realização do experimento (setembro de 2010 a abril de 2011 e setembro de 2011 a abril de 2012) e precipitação média mensal histórica (36 anos) da região de Tibagi, PR.**

médio da folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, sem nervura. Para a soja, coletou-se o terceiro trifólio a partir do ápice das plantas. As folhas coletadas foram lavadas com água deionizada, colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 72 h e moídas. Determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn, segundo os métodos descritos em Malavolta et al. (1997).

A produtividade de grãos de milho e soja foi avaliada após a maturação fisiológica das culturas, por meio de colheita manual e trilhagem em máquina de debulhadora estacionária. Foram colhidos 14 m<sup>2</sup> centrais de cada parcela, desprezando-se as extremidades. O teor de água nos grãos foi corrigido para 130 g kg<sup>-1</sup>.

As análises de variância foram realizadas seguindo o modelo fatorial 2 × 2 × 4. Equações de regressão por polinômios ortogonais foram ajustadas aos dados obtidos em função das doses de calcário. Consideraram-se apenas as regressões linear ou quadrática significativas a 5 %. O critério utilizado para a escolha do modelo baseou-se na magnitude dos coeficientes de determinação, após aplicação do teste t para aferir a significância dos coeficientes das regressões. As fontes e faixas de PRNT dos corretivos foram comparadas pelo teste F.

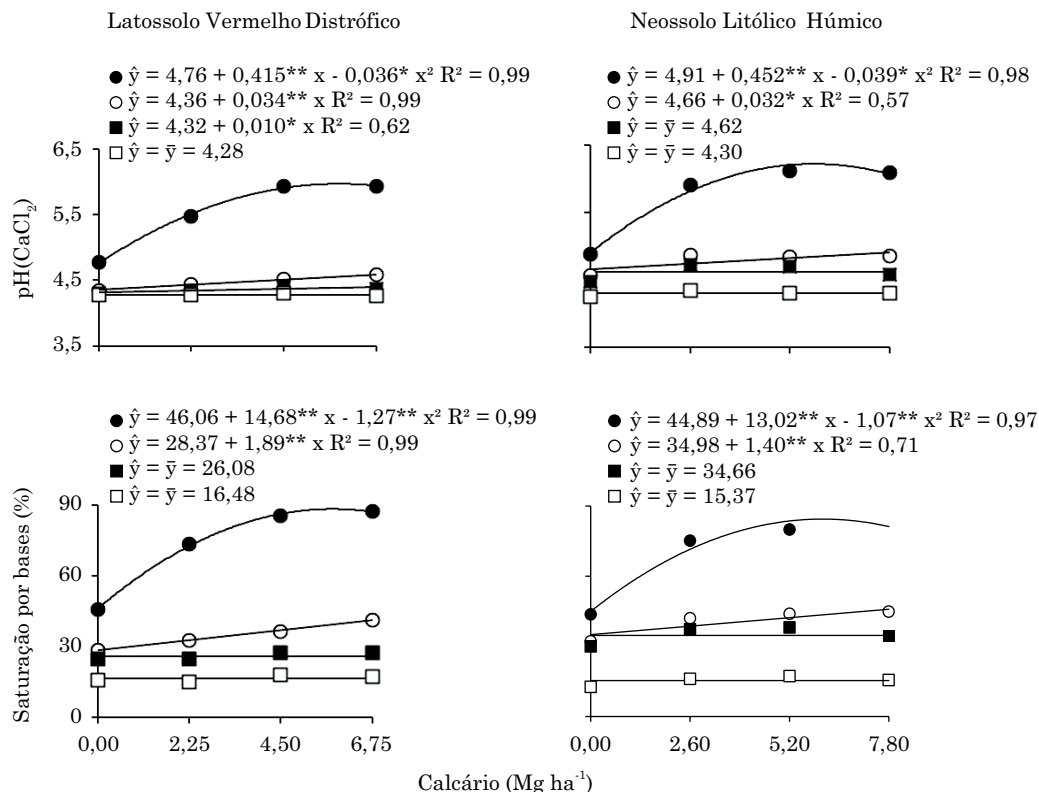
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses de calcário, após 12 meses da aplicação, aumentaram o pH(CaCl<sub>2</sub>) e a saturação por bases (V) dos dois solos (Latossolo Vermelho Distrófico

e Neossolo Litólico Húmico) na camada de 0,00-0,05 m e, em menor magnitude, na camada de 0,05-0,10 m (Figura 2). De acordo com as equações de regressão ajustadas, os maiores valores de pH e V na camada superficial (0,00-0,05 m) seriam obtidos com a dose média de aproximadamente 5,80 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, nos dois solos. Na camada de 0,05-0,10 m, os maiores valores de pH e V, nos dois solos, somente foram alcançados com a maior dose de calcário aplicada. No Latossolo Vermelho Distrófico, também houve pequeno acréscimo no pH na camada de 0,10-0,20 m com as doses de calcário aplicadas na superfície.

As fontes e faixas de PRNT dos corretivos proporcionaram alterações nos valores de pH e V nas camadas superficiais do solo (Quadro 3). No Latossolo Vermelho Distrófico, o pH foi maior nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, e a V foi mais elevada nas camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m, com o emprego de calcário calcítico em comparação ao dolomítico. Nesse solo, o calcário de granulometria mais fina (faixa D) também proporcionou maiores valores de pH na camada superficial do solo (0,00-0,05 m) e de V nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, em relação ao calcário de granulometria mais grossa (faixa B). No Neossolo Litólico Húmico, observou-se que o pH foi maior com o emprego de calcário calcítico em relação ao dolomítico, e que a V foi mais elevada com o uso de calcário de granulometria mais fina (faixa D), em comparação ao de granulometria mais grossa (faixa B), somente na camada superficial do solo (0,00-0,05 m). Assim, o calcário calcítico e a granulometria mais fina dos corretivos proporcionaram maior reação na camada superficial dos dois solos estudados.

Na camada superficial do solo (0,00-0,05 m), houve interação significativa entre doses e fontes de calcário para o pH do solo (Figura 3), tanto no Latossolo Vermelho Distrófico como no Neossolo Litólico Húmico, evidenciando que o calcário calcítico proporcionou aumento mais acentuado no pH do que o calcário dolomítico, quando as doses mais altas dos corretivos foram aplicadas na superfície. Com base nas equações de regressão ajustadas, os maiores valores de pH(CaCl<sub>2</sub>) obtidos na camada superficial do Latossolo Vermelho Distrófico (0,00-0,05 m) foram de 6,5, com a aplicação de 6,75 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico, e de 5,7, com o emprego de 4,68 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. No caso do Neossolo Litólico Húmico, o pH(CaCl<sub>2</sub>) na camada superficial (0,00-0,05 m) alcançou valor máximo de 6,5, com a aplicação de 6,38 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico, e de 6,0, com a aplicação de 5,28 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. Esses resultados concordaram com os obtidos por Gallo e Catani (1954), os quais observaram que a solubilidade dos calcários contendo alto teor de Ca foi mais elevada em relação aos calcários dolomíticos de igual granulometria. O calcário dolomítico, apesar de apresentar maior poder de neutralização (PN),



**Figura 2.** Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$  e na saturação por bases do Latossolo Vermelho Distrófico e do Neossolo Litólico Húmico, nas profundidades de 0,00-0,05 m (●); 0,05-0,10 m (○); 0,10-0,20 m (■) e 0,20-0,40 m (□), considerando as doses de calcário aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010, e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

reage mais lentamente do que o calcário calcítico, em decorrência da maior estabilidade da dolomita comparada à calcita (Barber, 1967).

Eficiência da aplicação superficial de calcário na correção da acidez de camadas superficiais do solo tem sido observada em vários estudos realizados no SPD (Rheinheimer et al., 2000; Moreira et al., 2001; Kaminski et al., 2005; Caires et al., 2006; Pauletti et al., 2014). Considerando a baixa solubilidade do calcário, a magnitude dos efeitos da calagem superficial nos atributos químicos do solo pode variar de acordo com a acidez na camada superficial, a dose utilizada, o tempo de reação e a disponibilidade de água. Além disso, os resultados indicaram que a magnitude de tais efeitos também depende da fonte de calcário empregada e da granulometria (Quadro 3).

Aumentos na disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , principalmente na camada superficial (0,00-0,05 m), foram observados com as doses de calcário aplicadas na superfície, após 12 meses nos dois solos estudados (Figura 4). Os aumentos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada superficial (0,00-0,05 m) ocorreram conforme o modelo linear no Latossolo

Vermelho Distrófico; e quadrático, no Neossolo Litólico Húmico. Os maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada superficial do solo (0,00-0,05 m) foram obtidos com a maior dose de calcário aplicada ( $6,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) no Latossolo Vermelho Distrófico e com a aplicação de  $6,64 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário no Neossolo Litólico Húmico. Nos dois solos, os aumentos nos teores de Mg trocável na camada superficial (0,00-0,05 m) ocorreram de acordo com o modelo quadrático, tendo-se obtido os teores mais elevados de  $\text{Mg}^{2+}$  com as doses de calcário de  $6,37 \text{ Mg ha}^{-1}$  no Latossolo Vermelho Distrófico e de  $5,87 \text{ Mg ha}^{-1}$  no Neossolo Litólico Húmico. Aumentos de pequena magnitude nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , na camada de 0,05-0,10 m, nos dois solos, e de  $\text{Mg}^{2+}$ , na camada de 0,10-0,20 m, no Neossolo Litólico Húmico, também ocorreram com as doses de calcário aplicadas na superfície.

O calcário calcítico proporcionou maior teor de  $\text{Ca}^{2+}$  do que o calcário dolomítico nas camadas de 0,00-0,05 e 0,05-0,10 m, no Latossolo Vermelho Distrófico, e na camada de 0,00-0,05 m, no Neossolo Litólico Húmico (Quadro 3). O calcário dolomítico proporcionou maior teor de  $\text{Mg}^{2+}$  do que o calcário

**Quadro 3. Alterações do pH em CaCl<sub>2</sub>, da saturação por bases (V), dos teores de Ca e Mg trocáveis do Latossolo Vermelho Distrófico e do Neossolo Litólico Húmico, em quatro profundidades, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos aplicados na superfície dos solos em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT**

Tratamento	Latossolo Vermelho Distrófico				Neossolo Litólico Húmico			
	pH(CaCl <sub>2</sub> )	V	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH(CaCl <sub>2</sub> )	V	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
		%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
0,00-0,05 m								
Fonte								
Dolomítico	5,3	71,9	67,9	30,3	5,6	68,9	55,3	26,6
Calcítico	5,7	74,2	87,5	19,6	5,9	71,6	70,1	14,1
Valor F	11,7**	1,9ns	11,1**	77,7**	9,4**	2,3 <sup>ns</sup>	12,6**	107,5**
Faixa de PRNT								
Faixa B	5,4	71,1	68,0	21,3	5,7	68,0	60,8	17,2
Faixa D	5,7	75,0	83,3	28,5	5,8	72,5	64,6	23,6
Valor F	5,7*	5,6*	10,8**	35,2**	0,3 <sup>ns</sup>	6,8*	0,8 <sup>ns</sup>	28,2**
0,05-0,10 m								
Fonte								
Dolomítico	4,4	32,1	17,8	8,1	4,7	38,7	29,0	8,2
Calcítico	4,5	37,4	25,8	8,6	4,8	42,0	32,5	7,8
Valor F	4,8*	6,95*	19,1**	0,7 <sup>ns</sup>	0,9ns	1,7 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>
Faixa de PRNT								
Faixa B	4,4	32,2	20,2	7,8	4,4	44,5	31,4	8,3
Faixa D	4,5	37,2	23,4	8,8	4,5	45,0	30,1	7,7
Valor F	3,6 <sup>ns</sup>	6,1*	3,0 <sup>ns</sup>	2,9 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,4 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>
0,10-0,20 m								
Fonte								
Dolomítico	4,3	25,4	14,1	6,8	4,6	33,8	25,6	7,2
Calcítico	4,3	27,4	15,5	7,3	4,6	35,5	27,6	7,1
Valor F	0,03 <sup>ns</sup>	2,1 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	0,8 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>
Faixa de PRNT								
Faixa B	4,3	27,3	14,2	6,7	4,6	34,0	26,2	7,0
Faixa D	4,3	25,6	15,4	7,5	4,6	35,2	27,1	7,3
Valor F	0,03 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>
0,20-0,40 m								
Fonte								
Dolomítico	4,2	15,7	5,9	3,8	4,2	15,0	9,4	3,5
Calcítico	4,2	17,3	6,9	4,3	4,3	15,6	9,7	3,5
Valor F	0,06 <sup>ns</sup>	4,2*	3,7 <sup>ns</sup>	3,0 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>
Faixa de PRNT								
Faixa B	4,2	16,8	6,3	4,1	4,3	14,9	9,4	3,4
Faixa D	4,2	16,2	6,5	4,1	4,3	15,7	9,7	3,5
Valor F	3,2 <sup>ns</sup>	0,6 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,3 <sup>ns</sup>	0,1 <sup>ns</sup>	0,0 <sup>ns</sup>

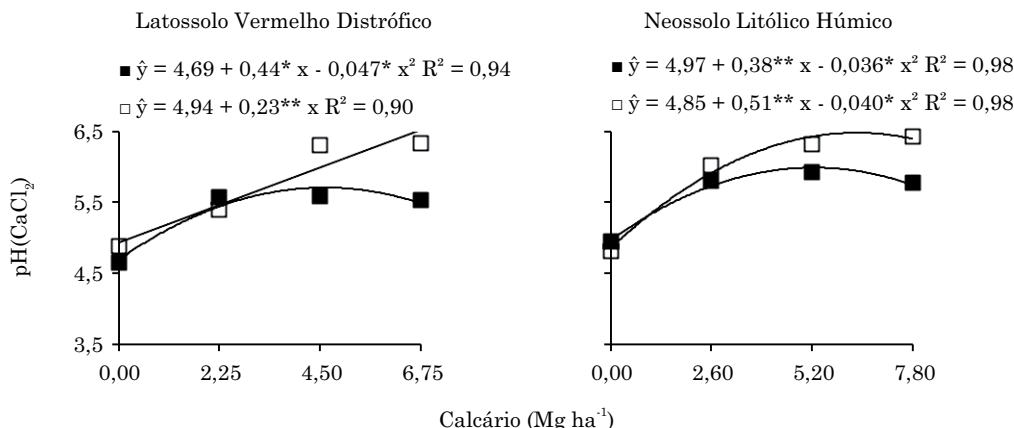
<sup>ns</sup>: não-significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

calcítico, na camada superficial (0,00-0,05 m) dos dois solos estudados.

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na camada de 0,00-0,05 m, foram influenciados significativamente

pela interação entre doses e fontes de calcário, nos dois solos (Figura 5). Os desdobramentos das interações revelaram que os incrementos nos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, na camada de 0,00-0,05 m, decorrentes da aplicação dos corretivos, tanto no





**Figura 3.** Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$  da camada superficial (0,00-0,05 m) do Latossolo Vermelho Distrófico e do Neossolo Litólico Húmico, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT (B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010, e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Latossolo Vermelho Distrófico como no Neossolo Litólico Húmico, se tornaram mais pronunciados na medida em que se aumentaram as doses de calcário, especialmente de calcítico em relação ao dolomítico para o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  e de dolomítico, em relação ao calcítico para o teor de  $\text{Mg}^{2+}$ . As doses de calcário calcítico e dolomítico elevaram os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  nessa camada de acordo com o modelo linear, respectivamente, até 138,7 e 99,8  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , no Latossolo Vermelho Distrófico; e até 98,6 e 69,3  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ , no Neossolo Litólico Húmico. Os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  na camada superficial (0,00-0,05 m) foram máximos com a aplicação de 6,11  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (41,4  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e 6,75  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário calcítico (27,0  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), no Latossolo Vermelho Distrófico; e de 6,69  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico (36,8  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e 4,88  $\text{Mg ha}^{-1}$  de calcário calcítico (18,2  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), no Neossolo Litólico Húmico. Isso ocorreu em razão de os calcários dolomíticos apresentarem em sua composição concentrações mais baixas de CaO e mais altas de MgO, em relação aos calcários calcíticos (Quadro 2). Resultados semelhantes foram também encontrados por Holzschuh (2007) em um experimento com aplicação dos calcários calcítico e dolomítico, em quatro solos do Rio Grande do Sul.

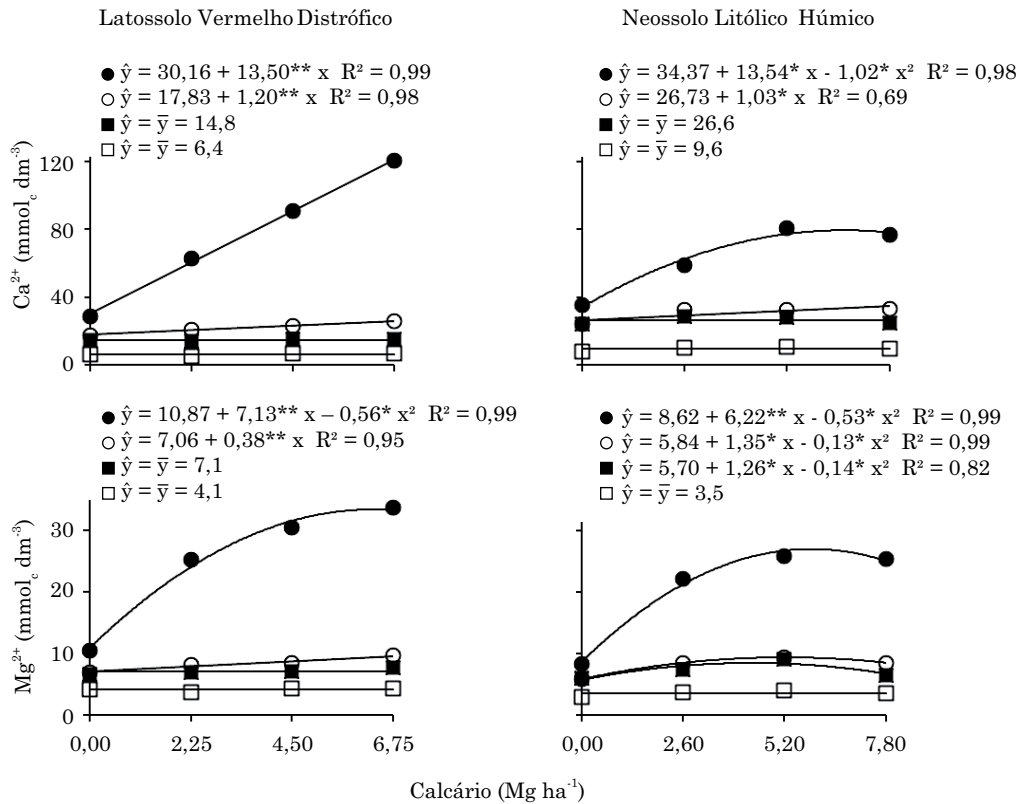
Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram significativamente mais elevados na camada de 0,00-0,05 m com a utilização de calcário de granulometria mais fina (faixa D), em relação ao de granulometria mais grossa (faixa B), no Latossolo Vermelho Distrófico (Quadro 3). O mesmo efeito foi observado para o teor de  $\text{Mg}^{2+}$ , na camada de 0,00-0,05 m, no Neossolo Litólico Húmico. Esse comportamento era esperado, considerando que o corretivo com granulometria mais fina também proporcionou maior reação na camada superficial dos dois solos estudados (Quadro 3). A

maior parte da fração granulométrica mais fina do calcário (<0,30 mm) reage no solo em três meses, mesmo quando a calagem é realizada em superfície, enquanto a fração com maior dimensão (0,84-2,0 mm) continua reagindo posteriormente (Mello et al., 2003).

As doses de calcário aumentaram linearmente os teores de Ca e Mg nas folhas da soja cultivada em 2011/12 no Latossolo Vermelho Distrófico (Quadro 4). As concentrações de P e S no tecido foliar da soja foram aumentadas com as doses de calcário, conforme o modelo quadrático. As concentrações foliares de B foram reduzidas de forma quadrática e as de Mn e Zn, de modo linear com as doses de calcário na superfície. O teor de Ca nas folhas de soja foi significativamente maior com o uso de calcário calcítico, e o teor de Mg no tecido foliar da soja foi significativamente mais elevado com a utilização de calcário dolomítico. Tais efeitos eram esperados, considerando os teores de CaO e MgO na composição dos calcários calcítico e dolomítico (Quadro 2). As faixas de PRNT dos corretivos não ocasionaram alterações significativas nos teores de nutrientes nas folhas de soja, evidenciando que a nutrição da soja não foi influenciada pela granulometria dos corretivos da acidez. Apesar das alterações observadas com a calagem, os teores de nutrientes nas folhas se mantiveram em níveis considerados normais para a cultura da soja (Malavolta et al., 1997).

O aumento de P e S no tecido foliar da soja com as doses de calcário aplicadas (Quadro 4) deve ter sido ocasionado pela maior liberação de fosfato e sulfato adsorvidos no solo com o aumento do pH decorrente da calagem. Além disso, a correção da acidez na camada superficial do solo com a calagem pode favorecer a mineralização da matéria orgânica (Wisniewski e Holtz, 1997), aumentando





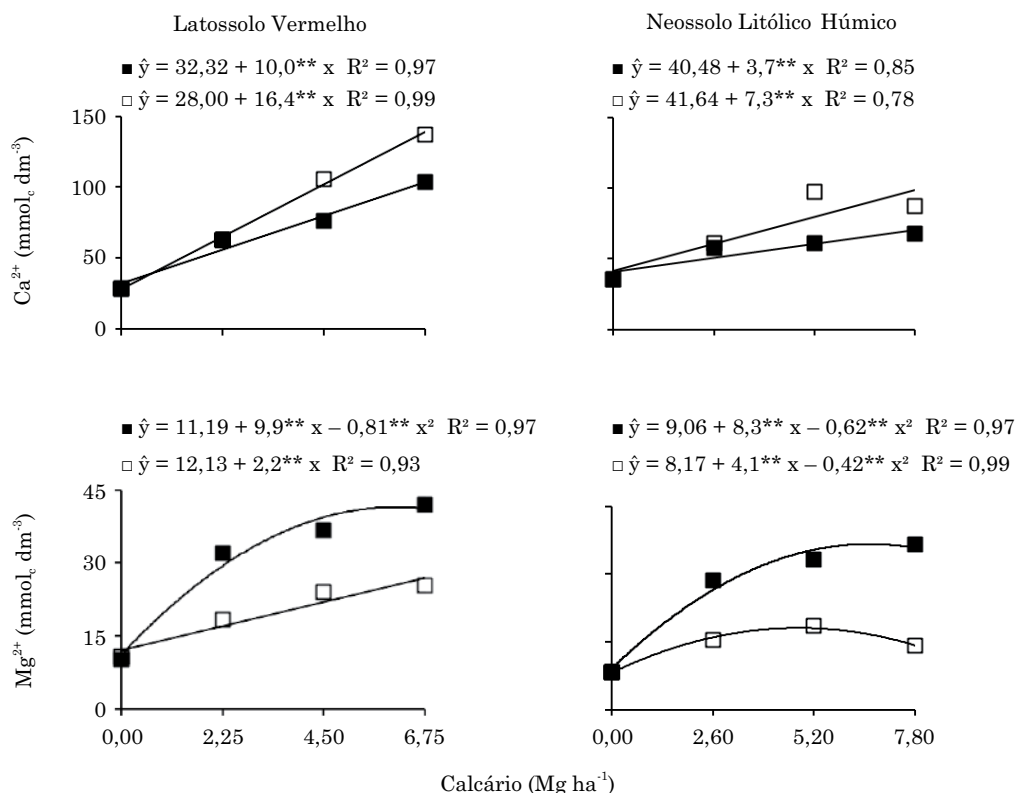
**Figura 4.** Alterações nos teores de Ca e Mg trocáveis do Latossolo Vermelho Distrófico e do Neossolo Litólico Húmico, nas profundidades de 0,00-0,05 m (●); 0,05-0,10 m (○); 0,10-0,20 m (■) e 0,20-0,40 m (□), considerando as doses de calcário aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010, e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

os teores de fosfato e sulfato disponíveis no solo. O decréscimo nos teores de B, Mn e Zn nas folhas de soja com as doses de calcário deve estar relacionado com a diminuição na disponibilidade desses micronutrientes no solo, em decorrência do aumento do pH proporcionado pela calagem. Deficiência de B na soja cultivada em uma várzea, onde houve excessiva aplicação de calcário, foi observada por Mascarenhas et al. (1988). Menor absorção de Zn e Mn pela soja em razão da calagem também foi observada em outros estudos (Machado e Pavan, 1987; Tanaka et al., 1992; Caires et al., 2000) e atribuída à diminuição de suas formas biodisponíveis na solução do solo com o aumento do pH pela calagem.

As doses de calcário aumentaram linearmente os teores de Ca e Mg e reduziram de forma linear as concentrações de Mn e Zn nas folhas do milho cultivado em 2011/12 no Neossolo Litólico Húmico (Quadro 4). Mesmo assim, todos os nutrientes se mantiveram em concentrações consideradas adequadas para a cultura do milho (Malavolta et al., 1997). Não foram observadas

alterações significativas nos teores de nutrientes no tecido foliar do milho com o uso de calcários dolomítico e calcítico e com as diferentes faixas de PRNT dos corretivos.

Aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas de milho com a aplicação superficial de calcário dolomítico em SPD também foi observado por Caires et al. (2002). A calagem na superfície em plantio direto, ao aumentar os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> no solo e a concentração de Ca e Mg nas folhas, pode proporcionar desequilíbrios nutricionais de cátions na planta de milho, principalmente entre Mg e K (Caires et al., 2002). Neste estudo, a nutrição de K pelo milho não foi significativamente influenciada pela calagem superficial, inclusive com o uso de fontes de calcário com concentrações variadas de MgO (Quadro 4). A redução nos teores de Mn e Zn nas folhas de milho com as doses de calcário, de forma semelhante ao que ocorreu na cultura da soja, deve ter sido consequência da diminuição na disponibilidade desses micronutrientes no solo, em decorrência do aumento do pH proporcionado pela calagem.



**Figura 5.** Alterações nos teores de Ca e Mg trocáveis da camada superficial (0,00-0,05 m) do Latossolo Vermelho Distrófico e do Neossolo Litólico Húmico, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT (B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010, e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*: significativo a 1 %.

As produtividades de grãos de milho, em 2010/11, e soja, em 2011/12, cultivados no Latossolo Vermelho Distrófico foram aumentadas com o incremento das doses de calcário, conforme o modelo quadrático (Figura 6). De acordo com as equações de regressão ajustadas, as maiores produtividades de milho (12.870 kg ha<sup>-1</sup>) e soja (3.350 kg ha<sup>-1</sup>) nesse solo seriam obtidas, respectivamente, com as doses de 5,40 e 4,06 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, resultando em aumento de 9 % na produtividade de milho e de 8 %, na de soja. Considerando os resultados das análises químicas do solo (0,00-0,20 m) realizadas antes da instalação do experimento (Quadro 1), as doses que resultariam nas maiores produtividades de milho e soja seriam as calculadas para elevar a V do solo a 78 e 65 %, respectivamente.

As doses de calcário aumentaram linearmente as produtividades de grãos de soja, em 2010/11, e de milho, em 2011/12, cultivados no Neossolo Litólico Húmico (Figura 6). De acordo com as equações de regressão ajustadas, os aumentos ocorridos na produtividade de grãos de soja e milho nesse solo

foram da ordem de 8 e 12 %, respectivamente, com a maior dose de calcário aplicada.

Apesar de as doses de calcário aplicadas na superfície terem aumentado a produtividade de grãos de milho e soja, o rendimento de grãos das culturas foi relativamente satisfatório na ausência de calagem (Figura 6). Em estudos realizados na Região Sul do Brasil, altas produtividades de grãos de milho e/ou soja foram observadas em solos ácidos sob plantio direto, com pouca ou nenhuma resposta dessas culturas à calagem na superfície (Costa e Rosolem, 2007; Caires et al., 2008, 2011; Vieira et al., 2013). Neste trabalho, a precipitação pluvial ocorrida durante o período de desenvolvimento vegetativo das culturas de milho e soja no campo (novembro a janeiro) foi mais baixa do que a precipitação pluvial média histórica da região, principalmente em 2011/2012 (Figura 1). Como no SPD as plantas de milho e soja são mais influenciadas pela toxicidade do Al quando a umidade do solo é baixa (Joris et al., 2013), a mais baixa precipitação pluvial ocorrida durante o período

de desenvolvimento vegetativo das culturas pode ter contribuído para obter efeitos mais pronunciados da aplicação superficial de calcário na produtividade de grãos, como constatado também por Caires et al. (2005).

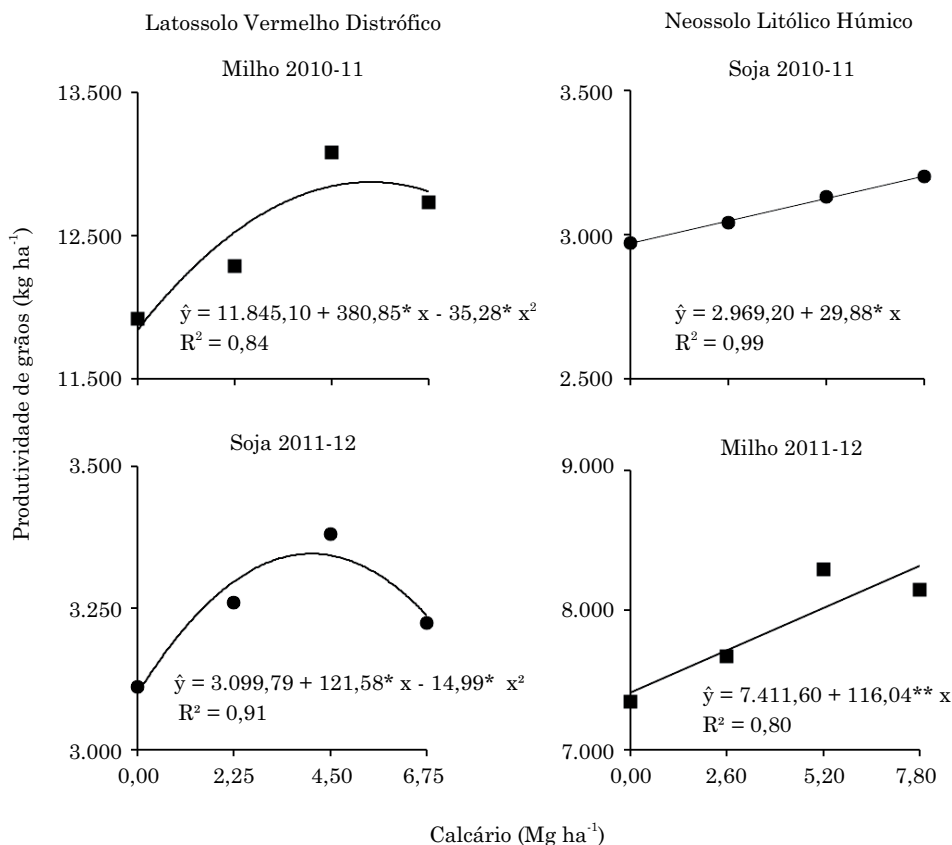
As fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas de PRNT dos corretivos não ocasionaram

alterações significativas nas produtividades de grãos de milho e soja, nos solos estudados (Quadro 5). Os resultados evidenciaram que as doses de calcário foram mais importantes do que as concentrações de CaO e MgO e a granulometria dos corretivos para maximizar a produtividade de grãos das culturas no SPD.

**Quadro 4. Concentrações de nutrientes nas folhas de soja, no Latossolo Vermelho Distrófico, e de milho, no Neossolo Litólico Húmico, cultivados em 2011/12, considerando as doses, fontes e faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos da acidez aplicados na superfície do solo em sistema plantio direto**

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
Soja												
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )												
0,00	58,1	3,6	24,8	8,5	2,7	2,3	26,8	11,2	110,4	68,5	29,3	
2,25	57,4	3,7	25,1	8,7	2,9	2,5	25,1	10,8	120,9	56,2	27,3	
4,40	61,9	4,1	24,5	9,1	3,0	3,0	24,5	11,6	122,9	52,8	25,9	
6,75	58,4	3,7	24,1	9,3	3,0	2,5	22,6	13,0	113,9	48,0	24,9	
Efeito	ns	Q**	ns	L**	L**	Q**	Q**	ns	ns	L**	L**	
R <sup>2</sup>	-	0,47	-	0,98	0,80	0,69	0,96	-	-	0,91	0,97	
Fonte												
Dolomítico	59,0	3,7	24,65	8,8	3,0	2,5	25,3	11,9	118,2	56,1	26,9	
Calcítico	58,9	3,8	24,57	9,1	2,8	2,6	24,2	11,4	115,8	56,6	26,5	
Valor F	0,01 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	4,33 <sup>**</sup>	3,57 <sup>*</sup>	2,50 <sup>ns</sup>	3,02 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,59 <sup>ns</sup>	
Faixa de PRNT												
Faixa B	59,3	3,8	23,9	9,0	2,9	2,6	24,5	12,4	119,5	56,3	26,9	
Faixa D	58,6	3,7	25,4	8,9	2,8	2,5	25,1	10,9	114,5	56,5	26,5	
Valor F	0,18 <sup>ns</sup>	0,53 <sup>ns</sup>	2,24 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	2,71 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>	
Milho												
Calcário (Mg ha <sup>-1</sup> )												
0,00	32,3	2,9	23,1	5,4	3,2	1,9	6,5	8,9	206,1	53,7	28,3	
2,25	31,6	3,1	23,5	5,9	3,4	1,8	5,8	8,5	213,3	42,2	23,4	
4,40	30,5	3,0	22,2	6,3	3,7	1,8	5,6	8,7	187,8	38,3	20,7	
6,75	31,9	3,3	22,2	6,7	3,7	1,9	5,7	8,8	212,6	33,4	18,6	
Efeito	ns	ns	ns	L**	L*	ns	ns	ns	ns	L**	L**	
R <sup>2</sup>	-	-	-	0,99	0,86	-	-	-	-	0,93	0,95	
Fonte												
Dolomítico	31,1	3,0	22,5	6,1	3,6	1,9	5,5	8,7	203,7	40,6	23,7	
Calcítico	32,0	3,1	22,1	6,2	3,4	1,8	6,3	8,7	206,6	43,2	21,9	
Valor F	0,31 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	1,99 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	2,56 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	
Faixa de PRNT												
Faixa B	31,7	3,1	22,9	6,0	3,5	1,9	6,0	8,8	199,5	40,9	23,2	
Faixa D	31,8	3,1	22,6	6,1	3,5	1,8	5,8	8,7	210,8	42,9	22,4	
Valor F	0,09 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	

L e Q: efeitos linear e quadrático por análise de regressão; <sup>ns</sup>: não-significativo; \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.



**Figura 6.** Produtividade de grãos de milho (■) e soja (●) no Latossolo Vermelho Distrófico e de soja (●) e milho (■) no Neossolo Litólico Húmico, respectivamente em 2010/11 e 2011/12, considerando as doses de calcário na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010. \* e \*\*: significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

**Quadro 5.** Produtividade de grãos de milho (2010/11) e soja (2011/12), no Latossolo Vermelho Distrófico, e de soja (2010/11) e milho (2011/12), no Neossolo Litólico Húmico, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de poder relativo de neutralização total (PRNT) dos corretivos aplicados na superfície do solo em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT

Tratamento	Latossolo Vermelho Distrófico		Neossolo Litólico Húmico	
	Milho (2010-11)	Soja (2011-12)	Milho (2010-11)	Soja (2011-12)
	kg ha <sup>-1</sup>			
Fonte				
Dolomítico	12.550	3.228	7.790	3.078
Calcítico	12.460	3.304	7.938	3.095
Valor F	0,09 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	0,82 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
Faixa de PRNT				
Faixa B	12.560	3.266	7.777	3.062
Faixa D	12.450	3.266	7.952	3.111
Valor F	0,13 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>: não significativo. A calagem foi realizada em agosto de 2010.

## CONCLUSÕES

A aplicação de calcário na superfície em SPD reduziu a acidez dos solos nas camadas de 0,00-0,05 m e, em menor grau, nas de 0,05-0,10 m. A amenização da acidez nas camadas da superfície foi mais acentuada com o emprego de doses mais elevadas de calcário calcítico e de corretivo com granulometria mais fina.

A calagem superficial aumentou os teores foliares de Ca, e a elevação de Mg nas folhas foi observada com a aplicação de calcário dolomítico. A calagem reduziu os teores foliares de Mn e Zn nas culturas de milho e soja. Contudo, a nutrição do milho e a da soja não foram influenciadas pela granulometria dos corretivos da acidez.

A calagem superficial em solos sob plantio direto foi de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos das culturas, independentemente se realizada com calcário calcítico ou dolomítico e com corretivos de granulometria mais fina ou mais grossa.

## REFERÊNCIAS

- Alcarde JC, Paulino VT, Denardin JS. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. *Bragantia*. 1989;13:387-92.
- Alcarde JC, Rodella AA. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. *Tópicos Ci Solo*. 2003;3:291-334.
- Amaral AS, Anghinoni I, Hinrichs R, Bertol I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2004;28:359-67.
- Amaral AS, Anghinoni I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. *Pesq Agropec Bras*. 2001;36:695-702.
- Barber SA. Lime material and practices. In: Pearson RW, Adams F, editors. *Soil acidity and liming*. Madison: American Society of Agronomy; 1967. p.125-60.
- Bortoluzzi EC, Parize GL, Korchagin J, Silva VR, Rheinheimer DS, Kaminski J. Soybean root growth and crop yield in response to liming at the beginning of a no-tillage system. *R Bras Ci Solo*. 2014;38:262-71.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais corretivos. Brasília, DF: 2007.
- Caires EF, Alleoni LRF, Cambri MA, Barth G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agron J*. 2005;97:791-8.
- Caires EF, Banzatto DA, Fonseca AF. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2000;24:161-9.
- Caires EF, Barth G, Garbuio FJ, Kusman MT. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2002;26:1011-22.
- Caires EF, Garbuio FJ, Alleoni LRF, Cambri MA. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2006;30:87-98.
- Caires EF, Joris HAW, Churka S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use Manage*. 2011;27:45-53.
- Caires EF, Pereira Filho PRS, Zardo Filho R, Feldhaus, IC. Soil acidity and aluminium toxicity as affected by surface liming and cover oat residues under a no-till system. *Soil Use Manage*. 2008;24:302-9.
- Ciotta MN, Bayer C, Ernani PR, Fontoura SMV, Wobeto C, Albuquerque JA. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2004;28:317-26.
- Costa A, Rosolem CA. Liming in the transition to no-till under a wheat-soybean rotation. *Soil Till Res*. 2007;97:207-17.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 2013.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise de solo. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.
- Ernani PR, Ribeiro MFS, Bayer C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2004;35:889-901.
- Fageria NK. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesq Agropec Bras*. 2001;36:1419-24.
- Gallo JR, Catani RA. Solubilidade de alguns tipos de calcários. *Bragantia*. 1954;13:63-74.
- Gonçalves JRP, Moreira A, Büll LT, Crusciol CAC, Villas Boas RL. Granulometria e doses de calcário em diferentes sistemas de manejo. *Acta Sci Agron*. 2011;33:369-75.
- Holzschuh MJ. Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2007.
- Joris HAW, Caires EF, Bini AR, Scharr DA, Haliski A. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system. *Plant Soil*. 2013;365:409-24.
- Kaminski J, Santos DR, Gatiboni LC, Brunetto G, Silva LS. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *R Bras Ci Solo*. 2005;29:573-80.
- Machado PLO, Pavan MA. A adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *R Bras Ci Solo*. 1987;11:253-6.
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2ª. ed. Piracicaba: Potafos; 1997.
- Mascarenhas HAA, Miranda MAC, Bataglia OC, Pereira JCVNA, Tanaka RT. Deficiência de boro em soja. *Bragantia*. 1988;47:325-31.
- Mello JCA, Villas Boas RL, Lima EV, Crusciol CAC, Büll LT. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. *R Bras Ci Solo*. 2003; 27:553-61.
- Moreira SG, Kiehl JC, Prochnow LI, 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*. 2001;25:71-81.
- Oliveira EL, Pavan MA. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil Till Res*. 1996;38:47-57.

- Pauletti V, De Pierri, Ranzan T, Barth G, Motta ACV. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. *R Bras Ci Solo*. 2014;38:495-505.
- Raij Bvan, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas; 2001.
- Rheinheimer DS, Santos EJS, Kaminski J, Xavier FM. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ci Rural*. 2000;30:263-8.
- Tanaka RT, Mascarenhas HAA, Bulisani EA. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. *Pesq Agropec Bras*. 1992;27:247-50.
- Tedesco MJ, Gianello C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: Kaminski J, coordenador. *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2000. p.95-113.
- Vieira RCB, Bayer C, Fontoura SMV, Anghinoni I, Ernani PR, Moraes RP. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no Centro-Sul do Paraná. *R Bras Ci Solo*. 2013;37:188-98.
- Wisniewski C, Holtz GP. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. *Pesq Agropec Bras*. 1997;32:1191-7.