

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**CALAGEM SUPERFICIAL COM CALCÁRIO CALCÍTICO E DOLOMÍTICO  
DE DIFERENTES GRANULOMETRIAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

**MAIK BARBOSA RODRIGHERO**

**PONTA GROSSA – PR**

**2012**

MAIK BARBOSA RODRIGHERO

CALAGEM SUPERFICIAL COM CALCÁRIO CALCÍTICO E DOLOMÍTICO DE  
DIFERENTES GRANULOMETRIAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Dissertação apresentada à Universidade  
Estadual de Ponta Grossa para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia - Área de  
concentração: Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Co-orientador: Dr. Gabriel Barth

PONTA GROSSA – PR

2012

**Ficha Catalográfica**  
**Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG**

R696           Rodrighero, Maik Barbosa  
                  Calagem superficial com calcário  
                  calcítico e dolomítico de diferentes  
                  granulometrias em Sistema Plantio Direto/  
                  Maik Barbosa Rodrighero. Ponta Grossa,  
                  2012.  
                  90f.

                  Dissertação (Mestrado em Agronomia -  
                  Área de Concentração: Agricultura),  
                  Universidade Estadual de Ponta Grossa.  
                  Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero  
                  Caires.  
                  Co-Orientador: Prof. Dr. Gabriel Barth.

                  1.Correção da acidez do solo.  
                  2.Reatividade. 3.Poder relativo de  
                  neutralização total (PRNT). 4.Milho.  
                  5.Soja. I.Caires, Eduardo Fávero. II.  
                  Barth, Gabriel. III. Universidade Estadual  
                  de Ponta Grossa. Mestrado em Agronomia.  
                  IV. T.

CDD: 631.5



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“Calagem superficial com calcário calcítico e dolomítico de diferentes granulometrias em sistema de plantio direto.**

Nome: Maik Barbosa Rodrighero

Orientador: Eduardo Fávero Caires

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Prof. Dr. Fernando José Garbui

Prof. Dr. Eduardo Lima

Data da Realização: 21 de dezembro de 2012.

## **DEDICO**

Aos meus pais, amigos e familiares,  
por sempre me apoiarem em todos  
os momentos...

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente às pessoas e instituições sem as quais não teria sido possível realizar esse grandioso trabalho.

À Deus, pelas bênçãos, iluminações e, principalmente, pelas pessoas colocadas no meu caminho.

Aos meus familiares Marcos, Marli, Eric, Hermogenes e Marinalva pelo apoio e incentivo.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao Professor Eduardo Fávero Caires pela amizade, estímulo e dedicada orientação que contribuíram para o enriquecimento desse trabalho bem como para o meu aprendizado e crescimento profissional e pessoal, também pela paciência e compreensão em todos os momentos, inclusive nas maiores dificuldades encontradas.

Ao Dr. Gabriel Barth, pela co-orientação dessa dissertação, e aos funcionários da Fundação ABC, pela disponibilidade e grande ajuda nas atividades de campo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Aos amigos do Mestrado, Alexandre Pavanello, Leonardo Tullio, Bruna Spinardi, Tânia Eidam, Gustavo e Jhone Souza pelo apoio e confiança demonstrada ao longo de todos os anos de convivência e em especial durante a realização do curso de mestrado.

Aos amigos e colegas de trabalho dos Laboratórios de Fertilidade do Solo: Hélio Antônio Wood Joris, Renato Zardo Filho, Adriano Haliski, Angelo Rafael Bini, Danilo Augusto Scharr, Bruno Lourenço, Raiane Rodrigues França, Clélio Gilberto Marsola Júnior, Leonardo Fetzer, Alisson Fogaça e Hendrik Reifur, pela participação fundamental na concretização desse trabalho, além da enorme amizade e companheirismo.

Aos funcionários da UEPG, em especial às amigas Dirce Vaz, Jaqueline e a Zima pela grande ajuda nas análises laboratoriais.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa por possibilitar a realização do Mestrado bem como do presente trabalho e ao Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola pelo fornecimento do laboratório para realização das análises.

Em especial à minha namorada Micheli Gabardo pelo apoio, ajuda e compreensão, inclusive na realização das análises laboratoriais.

À todos que de uma forma ou de outra, contribuíram com a realização deste trabalho e com a formação do autor, meus sinceros agradecimentos.

A todos, muito obrigado.

RODRIGHERO, Maik Barbosa. **Calagem superficial com calcário calcítico e dolomítico de diferentes granulometrias em sistema plantio direto**. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

## RESUMO

No sistema plantio direto, a correção da acidez é feita por meio da aplicação de calcário na superfície sem incorporação. Com a hipótese de que a fonte e a granulometria dos corretivos interferem na reação do solo e na resposta das culturas à calagem superficial em plantio direto, foram realizados dois experimentos em Tibagi (PR), sendo um em Latossolo Vermelho argiloso e outro em Neossolo Litólico arenoso, no período de 2010 a 2012. O delineamento empregado, em cada experimento, foi o de blocos completos ao acaso, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 4$ , com três repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro doses de calcário na superfície, estimadas para elevar a saturação por bases do solo (0–20 cm), a 50, 70 e 90%; duas fontes de calcário, calcítico e dolomítico; e duas faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT), faixa B (PRNT de 60 a 75%) e faixa D (PRNT > 90%). Nos dois experimentos, o calcário foi aplicado a lanço sobre a superfície do solo em agosto de 2010. Realizaram-se dois cultivos em 2010–11 e 2011–12, com milho e soja no solo argiloso, e soja e milho no solo arenoso. Após 12 meses da aplicação, análises químicas de solo foram realizadas em amostras coletadas nas camadas de 0–5, 5–10, 10–20, 20–40 e 40–60 cm de profundidade. Amostras de folhas de milho e soja foram coletadas por ocasião do florescimento das culturas, no segundo ano de cultivo, para fins de diagnose foliar. A produtividade de grãos de milho e soja, nos dois experimentos, foi avaliada, nos dois anos, após a maturação fisiológica, corrigindo-se a umidade dos grãos para  $130 \text{ g kg}^{-1}$  de água. A aplicação superficial de calcário nos dois solos, após 12 meses, promoveu correção da acidez principalmente na camada de 0-5 cm e, em menor grau, na de 5-10 cm, independentemente da fonte e da faixa de PRNT dos corretivos. O calcário calcítico apresentou maior reação do que o calcário dolomítico nas camadas superficiais do solo. A extração com a resina de troca catiônica superestimou os teores de Ca e Mg trocáveis em relação à solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  quando houve aplicação superficial de calcário com granulometria mais grossa. A calagem superficial aumentou as concentrações de Ca-foliar, principalmente com a utilização de calcário calcítico, e de Mg-foliar, especialmente com o uso de calcário dolomítico, e reduziu os teores foliares de Mn e Zn, independentemente da fonte de calcário, nas culturas de milho e soja. As produtividades de milho e soja, no Latossolo argiloso, e de milho, no Neossolo arenoso, foram aumentadas com as doses de calcário, mas não foram influenciadas pelas fontes e faixas de PRNT dos corretivos. A calagem superficial em solos sob plantio direto se mostrou de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos das culturas, independentemente da fonte de calcário, calcítico ou dolomítico, e da faixa, B ou D, de PRNT dos corretivos.

**Palavras chave:** correção da acidez do solo, alumínio, cálcio, magnésio, reatividade, poder relativo de neutralização total (PRNT), milho, soja.

RODRIGHERO, Maik Barbosa. **Surface application of calcitic and dolomitic lime with different particle sizes under a no-till system.** Dissertation master's degree in Agronomy - State University of Ponta Grossa. (UEPG).

### **Abstract**

To control soil acidity in no-till systems, lime is broadcast on the surface without incorporation. In order to test the hypothesis that the source and particle size of the corrective influence the soil reaction and crop response to lime on the surface in no-till system, two experiments were conducted in Tibagi (PR), one in clayey Oxisol and another in sandy Litholic Neosol. A randomized complete block design was used in a factorial  $2 \times 2 \times 4$  with three replications, in each experiment. The treatments consisted of four rates of lime on the surface, estimated to raise the base saturation of the topsoil (0-20 cm), at 50, 70 and 90%; two sources of lime were used, calcitic and dolomitic, and two ranges of lime material effective calcium carbonate equivalent (ECCE), range B (ECCE 60-75%) and range D (ECCE > 90%). In both experiments, the lime was applied on the soil surface in August 2010. During the spring-summer season in 2010-11 and 2011-12, corn and soybean were grown on the clayey soil, and soybean and corn on the sandy soil, respectively. After 12 months of liming, soil chemical analyses were performed in samples taken at the 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, and 40-60 cm depths. Leaf samples of corn and soybean were taken during crop flowering, in the second year of cultivation, for foliar diagnosis. Grain yields of corn and soybean, in both experiments, were evaluated in two years, after the physiological maturity, and grain moisture was corrected to 130 g kg<sup>-1</sup>. Surface application of lime in both soils, after 12 months, promoted amelioration of soil acidity mainly in the 0-5 cm layer and, to a lesser extent in the 5-10 cm, regardless of the source and range of lime ECCE. Calcitic lime showed a stronger reaction than dolomitic lime in the soil surface layers. The extraction with cation exchange resin overestimated the exchangeable Ca and Mg content in relation to the 0.1 mol L<sup>-1</sup> KCl solution when coarser grain size lime was applied on the surface. Surface liming increased the Ca-leaf content, especially with the use of calcitic lime, and Mg-leaf content mainly with the use of dolomitic limestone, and 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 clayey Oxisol and corn in sandy Litholic Neosol were increased with the lime rates, but were not affected by sources and ECCE ranges of material lime. Surface application of lime in soils under no-till was proved of fundamental importance to maximize crop grain yield, regardless of the lime source being calcitic or dolomitic, or the ECCE range, B or D of the material lime.

**Key words:** amelioration of soil acidity, aluminum, calcium, magnesium, reactivity, effective calcium carbonate equivalent (ECCE), corn, soybean.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização geográfica do município de Tibagi-PR (destaque em verde), dentro do contexto estadual e nacional.....30
- Figura 2. Dados médios mensais de precipitação pluvial histórica da região (36 anos), de precipitação pluvial durante o período de realização do experimento (setembro de 2010 a abril de 2011 e setembro de 2011 a abril de 2012) e de temperaturas máximas e mínimas ocorridas no mesmo período, em Tibagi, PR (FUNDAÇÃO ABC, 2012) e (INMET 2012) .....34
- Figura 3. Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$ , na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al do solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....38
- Figura 4. Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$  do solo, na camada de 0-5 cm, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....40
- Figura 5. Alterações na saturação por bases e na saturação por Al do solo, na camada de 40-60 cm, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....41
- Figura 6. Teores de Ca e Mg trocáveis no solo extraídos com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....43
- Figura 7. Teores de Ca trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .....45
- Figura 8. Teores de Mg trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas

de PRNT dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....46

Figura 9. Relação Ca/Mg no solo por extração com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....48

Figura 10. Relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) por extração com KCl e resina, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .....48

Figura 11. Teores de K trocável e P disponível no solo extraídos com Mehlich-1 e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*:  $p < 0,05$  .....50

Figura 12. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível no solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$ .....53

Figura 13. Alterações no pH em  $CaCl_2$ , na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al do solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$  .....56

Figura 14. Alterações no em pH em  $CaCl_2$  do solo, na camada de 0-5 cm, 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 (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .....58

Figura 15. Teores de Ca e Mg trocáveis no solo extraídos com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .....59

Figura 16. Teores de Ca trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*p < 0,05 e \*\*: p < 0,01.....62

Figura 17. Teores de Mg trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*p < 0,05 e \*\*: p < 0,01.....62

Figura 18. Relação Ca/Mg no solo por extração com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*p < 0,05 e \*\*: p < 0,01.....63

Figura 19. Relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) por extração com KCl e resina, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*p < 0,05 e \*\*: p < 0,01.....64

Figura 20. Teores de K trocável e P disponível no solo extraídos com Mehlich-1 e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011.....66

Figura 21. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível no solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011.....69

Figura 22. Produtividade de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12, da Fazenda Tapejara, considerando as doses de calcário na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário e duas faixas de PRNT. A calagem foi realizada em agosto de 2010. \*p < 0,05.....74

Figura 23. Produtividade de grãos de soja, em 2010–11, e de milho, em 2011–12, da Fazenda Água Nova, considerando as doses de calcário na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário e duas faixas de PRNT. A calagem foi realizada em agosto de 2010. \*p < 0,05.....76

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultados de análises químicas e granulométricas do solo, da camada de 0–20 cm, antes da implantação dos experimentos na Fazenda Tapejara e na Fazenda Água Nova... .....31
- Tabela 2. Características dos corretivos da acidez utilizados nos experimentos da Fazenda Tapejara e da Fazenda Água Nova.....32
- Tabela 3. Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$ , na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT .....39
- Tabela 4. Teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....44
- Tabela 5. Relação Ca/Mg por extração com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....49
- Tabela 6. Teores de K trocável e P disponível extraídos com Mehlich-1 e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....52
- Tabela 7. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ) disponível, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT .....55
- Tabela 8. Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$ , na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT .....57

Tabela 9. Teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....61

Tabela 10. Relação Ca/Mg por extração com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....65

Tabela 11. Teores de K trocável e P disponível extraídos com Mehlich-1 e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....67

Tabela 12. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....70

Tabela 13. Concentração de nutrientes nas folhas de soja cultivada em 2011–12 no Latossolo argiloso da Fazenda Tapejara, considerando as doses, as fontes e as faixas de PRNT dos corretivos da acidez aplicados na superfície em sistema plantio direto .....71

Tabela 14. Concentração de nutrientes nas folhas de milho cultivado em 2011–12 no Neossolo arenoso da Fazenda Água Nova, considerando as doses, as fontes e as faixas de PRNT dos corretivos da acidez aplicados na superfície em sistema plantio direto....73

Tabela 15. Produtividade de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12, da Fazenda Tapejara, considerando as fontes de calcário e as faixas de PRNT dos corretivos aplicados na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....75

Tabela 16. Produtividade de grãos de soja, em 2010–11, e de milho, em 2011–12, da Fazenda Água Nova, considerando as fontes de calcário e as faixas de PRNT dos corretivos aplicados na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.....77

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Acidez do Solo e Calagem .....	17
2.2 Sistema Plantio Direto.....	19
2.3 Corretivos da Acidez do Solo.....	21
2.4 Correção da Acidez do Solo por meio da Calagem na Superfície em Sistema Plantio Direto.....	22
2.5 Equilíbrio de Cátions no Solo pelo uso de Calcário Calcítico e Dolomítico .....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Localização e Caracterização de Solo e Clima.....	30
3.2 Delineamento Experimental .....	31
3.3 Culturas.....	31
3.3.1 Fazenda Tapejara.....	32
3.3.2 Fazenda Água Nova.....	33
3.4 Condições Climáticas durante os Cultivos de Milho e Soja.....	33
3.5 Avaliações .....	34
3.5.1 Análises Químicas do Solo.....	34
3.5.2 Diagnose Foliar nas Culturas de Milho e Soja .....	35
3.5.3 Produtividade de Grãos de Milho e Soja.....	36
3.6 Análises Estatísticas .....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1 Alterações nos Atributos Químicos do Solo .....	37
4.1.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso.....	37
4.1.1.1 Acidez Ativa (pH), Saturação por Bases, Acidez Trocável (Al) e Saturação por Al .....	37

4.1.1.2 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) Trocáveis .....	42
4.1.1.3 Relação Ca/Mg no Solo .....	47
4.1.1.4 Potássio (K) Trocável e Fósforo (P) Disponível .....	50
4.1.1.5 Carbono Orgânico e Enxofre (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Disponível .....	53
4.1.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso.....	54
4.1.2.1 Acidez Ativa (pH), Saturação por Bases, Acidez Trocável (Al) e Saturação por Al .....	54
4.1.2.2 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) Trocáveis .....	58
4.1.2.3 Relação Ca/Mg no Solo .....	63
4.1.2.4 Potássio (K) Trocável e Fósforo (P) Disponível .....	64
4.1.2.5 Carbono Orgânico e Enxofre (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) disponível .....	68
4.2 Nutrição das Plantas de Soja e Milho .....	69
4.2.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso.....	69
4.2.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso.....	72
4.3 Produtividade de Grãos de Milho e Soja .....	74
4.3.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso.....	74
4.3.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso .....	75
5. CONCLUSÕES .....	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são naturalmente ácidos e apresentam altos teores de alumínio (Al) trocável (CIOTTA et al., 2004). Em solos ácidos, além da toxidez do Al, é comum ocorrer também deficiência de cálcio (Ca), cujas condições de acentuada acidez, podem causar impedimento à penetração das raízes (FAGERIA, 2001). A acidez do solo também prejudica a disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S) e molibdênio (Mo) para as plantas, e pode causar toxicidade de manganês (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. O calcário é um produto de baixa solubilidade em água, e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e do tempo de reação no solo.

A calagem é uma prática cujos efeitos benéficos são bastante conhecidos na agricultura e visa principalmente corrigir a acidez, neutralizar os efeitos tóxicos do Al e Mn, fornecendo Ca e Mg para as plantas, aumentar a disponibilidade de macronutrientes e Mo, e contribuir para a melhoria da estrutura do solo e da vida microbiana (BRADY, 1989). A aplicação de calcário favorece o crescimento do sistema radicular e melhora a absorção de água e nutrientes pelas plantas (CANTARELLA, 1993).

O sistema plantio direto 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 de nutrientes por erosão. Esse sistema tem apresentado rápido crescimento em área cultivada no Brasil, ocupando cerca de 25,5 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2006).

Para a correção da acidez do solo no sistema plantio direto, a calagem é realizada na superfície sem incorporação. Devido à 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. Nesse caso, a ocorrência da baixa concentração de Ca e/ou altos teores de Al no subsolo pode comprometer severamente o crescimento do sistema radicular e a nutrição das plantas, especialmente em regiões que apresentam deficiência hídrica.

Em um estudo realizado com colunas indeformadas de um Cambissolo húmico argiloso solo manejado há 5 anos no sistema plantio direto, Amaral et al. (2004b)

verificam rápido transporte de partículas finas de calcário da superfície até a profundidade de 20 cm pela água percolada no solo. Nesse estudo, foram recuperados, na base da coluna (22 cm), 10,86% da quantidade total de calcário adicionada na superfície do solo, após a percolação de 35 mm de água. Cabe destacar, no entanto, que nesse estudo utilizaram-se apenas partículas muito finas de calcário (0,105–0,053 mm), que representavam 31% da massa de calcário comercial. Nesse caso, evidenciou-se movimento de partículas finas de calcário por meio de canais e espaços existentes no solo, os quais foram mantidos intactos em razão da ausência de revolvimento. Apesar de praticamente não existirem estudos no campo que comprovem tais efeitos, é possível que o uso de calcários com granulometrias mais finas tenha ação mais rápida na correção da acidez em camadas do subsolo. Isso porque, além do transporte descendente de partículas finas de calcário pela infiltração da água no solo, o uso de calcários com granulometrias mais finas deve proporcionar reação mais rápida na camada superficial do solo e facilitar a movimentação dos produtos de reação do corretivo em direção ao subsolo. Deve-se considerar que a taxa de reatividade dos corretivos da acidez é condicionada pelo tamanho das partículas, uma vez que a velocidade de neutralização depende da área superficial de contato do corretivo com o solo. Quanto mais fina a granulometria do corretivo, mais rápida será sua reação, desde que o solo esteja úmido (ALCARDE et al., 1989; TEDESCO & GIANELLO, 2000).

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 cálcio e de magnésio na forma de sais puros na correção da acidez do solo e no suprimento de Ca e de Mg para as plantas (TEDESCO & GIANELLO, 2000; ALCARDE & RODELLA, 2003)

A influência das relações Ca/Mg no solo decorrentes da aplicação de calcário calcítico e dolomítico na nutrição das plantas está relacionada com a competição iônica pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Como consequência, dependendo da concentração, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (ORLANDO FILHO et al., 1996). Adams & Hederson (1962) citam diminuição na disponibilidade e no aproveitamento do Mg quando o pH do solo é elevado pela adição de carbonato de cálcio. Entretanto, Key, Kurtz & Tucker (1961) observaram que a saturação por Mg no solo tem pouca influência na quantidade de Mg absorvida pelas plantas, considerando o Mg trocável como um índice de disponibilidade mais satisfatório. Em decorrência da

baixa quantidade de Mg existente nos calcários calcíticos, o seu uso sistemático aumenta a relação Ca/Mg no solo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994). De acordo com Moore et al. (1961), o excesso de Ca em relação ao Mg na solução do solo prejudica a absorção desse último, assim como o excesso de Mg também prejudica a absorção de Ca.

O presente estudo teve o objetivo de avaliar os efeitos da aplicação superficial de calcário calcítico e dolomítico com diferentes faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT) na correção da acidez e nos atributos químicos de dois solos, com alto e baixo teor de argila, na nutrição das plantas e na produtividade de grãos de milho e soja em sistema plantio direto.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Acidez do Solo e Calagem**

A redução no rendimento das culturas comerciais, no decorrer dos cultivos, tem sido motivo de preocupação constante por parte dos agricultores. Segundo Quaggio (2000), aproximadamente 70% do território brasileiro é composto por solos ácidos, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40%. Geralmente, a perda do potencial produtivo de solos ácidos é decorrente da baixa disponibilidade de nutrientes e da elevada concentração de Al em solução. Em solos ácidos com pH em água menor que 5,5, há menor disponibilidade de Ca, Mg e P. Tais restrições prejudicam o desenvolvimento normal das plantas, afetando sua capacidade produtiva. O  $Al^{3+}$  em níveis tóxicos afeta o crescimento do sistema radicular por causar inibição do alongamento da raiz principal e engrossamento das pontas das raízes (Taylor, 1988), resultando em exploração de menor volume de solo pelas raízes e redução na absorção de água e nutrientes pelas plantas. A principal ação tóxica do  $Al^{3+}$  em plantas é a inibição do crescimento radicular longitudinal (DELHAIZE & RYAN, 1995; ROUT, SAMANTARAY & DAS, 2001). A paralisação no crescimento radicular pode ser decorrente da inibição do crescimento da parede celular, por meio da morte das células do meristema radicular, e da redução do metabolismo e da divisão celular (SCHILDKNECHT, 2004).

A acidez do solo se constitui em uma das principais limitações para obtenção de altas produtividades das culturas no estado do Paraná (OLIVEIRA et al., 1997). Resultados do levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná (EMBRAPA, 1984; IAPAR, 1984) mostraram que 61% das áreas do Estado eram ocupadas por solos que apresentavam caráter álico ou distrófico, indicando a necessidade de aplicação de calcário para obtenção de rendimentos de grãos satisfatórios das culturas.

A maioria dos estudos com solos no Brasil tem demonstrado a necessidade de calagem para que haja o aumento de produção agrícola. A toxidez causada pelos íons de  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$  e a baixa disponibilidade de bases trocáveis no solo, principalmente  $Ca^{2+}$ , têm sido apontadas como os principais fatores responsáveis pelas baixas produtividades das culturas em solos ácidos. A calagem é o meio mais prático para resolver os problemas relacionados com a acidez do solo por ocasionar elevação no pH, aumento na disponibilidade de nutrientes como N, P, K, S e Mo, diminuição nas concentrações tóxicas de  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$ , e fornecimento de Ca e Mg para as plantas.

Os efeitos da calagem normalmente restringem-se às zonas de aplicação do calcário ou imediatamente abaixo delas (PÖTTKER & BEN, 1998). O pH do solo e os teores Al trocável normalmente alteram-se pouco em profundidade devido à baixa solubilidade dos corretivos da acidez do solo e à baixa mobilidade dos produtos de sua reação no solo. A quase totalidade do Ca e do Mg adicionada pela aplicação de calcário vai para as cargas negativas criadas pelo aumento no pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al, e só uma pequena parte do Ca e do Mg fica na solução do solo. A movimentação do Ca e do Mg no perfil depende, portanto, da existência de outros ânions na solução do solo, principalmente nitrato, cloreto e sulfato, oriundos principalmente da mineralização da matéria orgânica, e cujas quantidades podem explicar, pelo menos em parte, a mobilidade diferencial do calcário adicionado em diferentes solos (PEARSON et al., 1962; GONZALEZ-ERICO et al., 1979).

A aplicação de doses elevadas de calcário pode promover movimento descendente de  $Ca^{2+}$  (RAIJ et al., 1982; QUAGGIO et al., 1982). Algumas características intrínsecas dos solos, principalmente aquelas relacionadas com o tamponamento, também afetam a profundidade de atuação dos corretivos, sendo que, em alguns casos, a calagem pode atingir camadas de até 40-60 cm de profundidade (QUAGGIO et al., 1982; MORELLI et al., 1992).

Em situações de cultivo em que há adição de fertilizantes nitrogenados contendo amônio ou uréia, a acidificação causada pela reação de nitrificação do íon amônio

assume grande importância:  $\text{NH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ . O  $\text{H}^+$  tem grande afinidade com o solo passando a ocupar posições de troca em forma não dissociada, liberando um cátion correspondente que se torna passível de ser lixiviado pelo ânion  $\text{NO}_3^-$  (RAIJ, 1991).

Além disso, o processo de acidificação do solo pode ser acelerado ou intensificado em sistemas agrícolas mediante processos de manejo de solos que levam à perda de bases e, portanto, promovem a acidificação (QUAGGIO, 2000). Assim, a correção da acidez do solo torna-se imprescindível, uma vez que eleva os teores de Ca e Mg, além de aumentar a disponibilidade de P e reduzir a toxicidade de Al e Mn no solo, fatores que proporcionam condições favoráveis ao crescimento radicular (CARVALHO - PUPPATO et al., 2004; CAIRES et al., 2004, 2006b).

## 2.2 Sistema Plantio Direto

O sistema plantio direto foi introduzido no Brasil no início da década de 1970, visando diminuir os impactos negativos da degradação e da erosão causados pelo preparo convencional do solo, que levaram a perdas consideráveis de solo e de nutrientes. No sistema plantio direto ocorre acúmulo de matéria orgânica no solo e aumento na capacidade de troca de cátions (CTC). Com isso, os solos sob plantio direto podem conter concentrações suficientes de cátions trocáveis nas camadas superficiais para a maioria das culturas, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$ , mesmo em condições de alta acidez (CAIRES et al., 1998).

No sistema de plantio direto, a permanência de resíduos vegetais na superfície do solo proporciona maior umidade disponível, maior disponibilidade de nutrientes e melhores condições para a atividade microbiana (SILVA et al., 2000). A ausência de revolvimento e a adição de resíduos vegetais, fertilizantes e corretivos na superfície do solo promovem alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, que se refletem na fertilidade do solo e na nutrição das plantas.

Com o decorrer do tempo após a adoção do sistema plantio direto ocorre aumento de poros gerados pela ação contínua de raízes e alta atividade da fauna (WUEST, 2001), permitindo a formação de canais, que são mantidos intactos e contínuos no perfil do solo. O acúmulo de matéria orgânica em sistema de plantio direto promove também maior estabilidade de agregados (JIAO, WHALEN & HENDERSHOT, 2006).

O sucesso do sistema plantio direto está diretamente relacionado com o uso adequado da rotação de culturas e da inclusão de plantas de cobertura para conciliar o rendimento econômico com a preservação da capacidade produtiva do solo.

No sistema plantio direto, vários estudos têm mostrado altas produtividades das culturas em solos com elevada acidez e pouca resposta das culturas à calagem superficial (PÖTTKER & BEN, 1998; CAIRES, BANZATO & Da FONSECA, 2000; ALLEONI et al., 2003; TISSI et al., 2004; CAIRES et al., 2005). Esses resultados têm sido atribuídos aos elevados teores de matéria orgânica no plantio direto, à maior concentração de nutrientes na superfície do solo, além da adequada disponibilidade de água no solo. O aumento na CTC do solo, devido ao maior teor de matéria orgânica, pode proporcionar concentrações suficientes de cátions trocáveis, mesmo em solo com alta acidez (CAIRES et al., 1998). Além disso, há maior umidade disponível nas camadas superficiais do solo sob plantio direto (SALTON & MIELNICZUK, 1995), devido à cobertura vegetal que reduz as perdas de água por evaporação.

A manutenção da palha promove a redução da evaporação de água e o consequente aumento na disponibilidade hídrica do solo contribuem consideravelmente para o aumento da produção agrícola no sistema plantio direto pela manutenção da palha sobre a superfície do solo, em comparação com o sistema convencional de preparo do solo (TARKALSON, HERGERT & CASSMAN, 2006; MOUSSA-MACHARAOU, ERRAUISSI & SAID-NOUIRA, 2010).

A menor toxidez do  $Al^{3+}$  em plantio direto tem sido atribuída à sua complexação com a matéria orgânica do solo em estudos de especiação química do  $Al^{3+}$  na solução do solo (BROWN et al., 2008; ALLEONI et al., 2010). O Al pode ser complexado com ligantes orgânicos de baixa massa molecular, mas a complexação do Al com esses compostos pode ter efeito de curto prazo e não ser realmente efetiva na redução da toxicidade do Al em condições de campo (MORAES et al., 2007). A maior parte do Al presente na solução do solo em plantio direto parece estar complexado com ânions orgânicos de alta massa molecular (Brown et al., 2008), mesmo em diferentes condições de solo e clima (ALLEONI et al., 2010). Como consequência, concentrações de  $Al^{3+}$  trocável consideradas tóxicas em solos ácidos (8 a 11  $mmolc\ dm^{-3}$ ) não têm causado restrição ao crescimento radicular das plantas em sistema plantio direto (CAIRES et al., 2002; TISSI, CAIRES & PAULETTI, 2004). Tais efeitos são decorrentes de menor concentração de espécies tóxicas de Al ( $Al^{3+}$  e  $AlOH^{2+}$ ) e maior concentração de Al complexado com ligantes orgânicos (SALET, ANGHINONI & KOCHHAN, 1999;

ZAMBROSI et al., 2007; DIEHL, MIYAZAWA & TAKAHASHI, 2008; BROWN et al., 2008; ALLEONI et al., 2010). Entretanto, o conteúdo de água no solo influencia a formação e manutenção de ligantes orgânicos na solução do solo, os quais podem diminuir drasticamente em condições de menor umidade do solo (CHRIST & DAVID, 1996). Em solos com altos teores de  $Al^{3+}$  trocável pode haver aumento na sua atividade em condições de seca, ocorrendo o inverso em condições de alta umidade no solo. Caires et al. (2008) verificaram que a toxicidade do Al em sistema plantio direto foi baixa quando não houve limitação hídrica durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, mas em condições desfavoráveis de chuvas a toxicidade do Al comprometeu severamente o crescimento radicular e a produtividade de grãos.

### 2.3 Corretivos da Acidez do Solo

Os corretivos da acidez do solo são produtos que contêm como "constituintes neutralizantes" ou "princípios ativos" carbonatos, óxidos, hidróxidos ou silicatos de Ca e/ou de Mg (ALCARDE, 1986). A correção da acidez do solo consiste em neutralizar prótons  $H^+$ , o que é feito pelos ânions  $OH^-$  e  $HCO_3^-$ . Portanto, os corretivos de acidez do solo devem ter componentes básicos para gerar ânions capazes de consumir prótons  $H^+$  e promover a neutralização (ALCARDE & RODELLA 2003).

Os materiais corretivos da acidez do solo mais usados na agricultura são rochas calcárias moídas, constituídas por misturas de minerais como a calcita e a dolomita, as quais possuem em sua composição carbonatos de cálcio ( $CaCO_3$ ) e/ou de magnésio ( $MgCO_3$ ), que são pouco solúveis em água.

No Brasil, os calcários são classificados em calcítico, quando o teor de MgO é menor que 5%, e dolomítico, quando o teor de MgO é igual ou superior a 5%. Em decorrência da baixa concentração de MgO existente nos calcários calcíticos, o uso sistemático de tais corretivos pode aumentar a relação Ca/Mg no solo (FASSBENDER & BORNEMISZA, 1994). Das características relacionadas com a qualidade dos corretivos da acidez, apenas duas têm sido consideradas: o teor de neutralizantes que expressa o poder de neutralização (PN) e a granulometria que define a reatividade (RE). A granulometria tem sido determinada em termos de capacidade de reação no solo por curtos períodos de tempo, desconsiderando-se o efeito residual. A (RE) apresenta apenas uma relação parcial com a qualidade, não devendo refletir necessariamente na eficiência de um corretivo.

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. No Brasil, são poucos os trabalhos realizados sobre a ação dos corretivos no solo em função da granulometria. Avaliações em condições de laboratório baseadas na elevação do pH do solo mostraram que as taxas de reatividade das diferentes frações granulométricas, aos 90 dias de incubação, foram de 23% para a fração de 2 a 0,84 mm, 65% para a fração de 0,84 a 0,30 mm e 95% para a fração menor do que 0,30 mm (RAIJ, 1977; BELINGIERI et al. 1989; ALCARDE et al., 1989). Esses valores concordam com aqueles adotados pela legislação brasileira para cálculo da reatividade dos corretivos.

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 a reação do material, desde que o solo esteja úmido (ALCARDE et al., 1989; TEDESCO & GIANELLO, 2000). Considerando que os corretivos da acidez reagem lentamente no solo, a determinação das frações não trocáveis de Ca e Mg no solo, que teoricamente representam a fração do corretivo remanescente que ainda não foi dissolvido (“calcário residual”) (RAIJ et al., 1982; QUAGGIO et al., 1982, 1995), aliada aos atributos químicos contidos na análise de fertilidade, é uma “ferramenta” importante para a definição do momento correto para reaplicação do corretivo (RAIJ et al., 1982; QUAGGIO et al., 1982; LIMA, 2004; SORATTO & CRUSCIOL, 2008).

#### 2.4 Correção da Acidez do Solo por meio da Calagem na Superfície em Sistema Plantio Direto

No sistema plantio direto, o corretivo da acidez do solo é aplicado na superfície, sem incorporação. Como os materiais corretivos da acidez utilizados na agricultura são pouco solúveis, e os produtos da reação do calcário com o solo têm mobilidade limitada, a ação da calagem, nesse caso, pode ser restrita às camadas superficiais do solo (CAIRES et al. 1998). Isso porque enquanto existirem cátions ácidos, a reação de neutralização da acidez ficará limitada à camada superficial, retardando o efeito em subsuperfície. Mello et al. (2003) verificaram que a calagem na superfície em plantio direto, após 12 meses, proporcionou correção da acidez das camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm), independentemente da granulometria do corretivo. Apesar de os

efeitos da calagem superficial na correção da acidez do solo serem mais pronunciados nas camadas superficiais (CAIRES et al., 1998; PÖTTKER & BEN, 1998), vários trabalhos demonstraram que a aplicação superficial de calcário em sistema plantio direto apresentou eficiência também na correção da acidez de camadas do subsolo (OLIVEIRA; PAVAN, 1996; CAIRES et al., 2008; FLORES et al., 2008).

A migração dos efeitos da calagem na correção da acidez do solo em profundidade está relacionada, principalmente, com a dose do corretivo, o tempo de reação, o tipo de solo, a macroporosidade, o regime hídrico e a presença de ânions inorgânicos, como nitrato, sulfato e cloreto, e orgânicos (OLIVEIRA & PAVAN, 1996; CAIRES et al., 2000; RHEINHEIMER et al., 2000b; GASCHO & PARKER, 2001; HAYNES & MOKOLOBATE, 2001; CONYERS et al., 2003; CIOTTA et al., 2004).

Os mecanismos que podem estar envolvidos na melhoria das condições de acidez do subsolo por meio da calagem na superfície em sistema plantio direto são: (i) deslocamento vertical de partículas finas de calcário decorrente de condições favoráveis de estruturação do solo (AMARAL et al., 2004b) e (ii) mobilização química do calcário nas formas inorgânicas, principalmente com sais de nitrato (SUMNER, 1995) e sulfato (SHAINBERG et al., 1989), e orgânicas (PAVAN & MIYAZAWA, 1998; MIYAZAWA et al., 2000).

No sistema plantio direto, partículas finas de calcário podem se deslocar para camadas mais profundas e promover aumento no pH e redução do Al monomérico na subsuperfície (AMARAL et al., 2004b). Os bioporos podem se tornar caminhos preferenciais na movimentação descendente da solução do solo e de partículas finas de corretivos da acidez.

Em uma revisão de vários experimentos onde o calcário e o gesso foram aplicados na superfície (SUMNER, 1995) verificou-se que ambos os materiais foram efetivos em movimentar Ca para o subsolo e reduzir a toxicidade por Al. Entretanto, as alterações no subsolo foram pequenas com adições de calcário na ausência ou na presença de pouco fertilizante nitrogenado acidificante.

Alguns estudos demonstraram que o acúmulo de resíduos de plantas de cobertura sobre a superfície do solo pode aumentar a eficiência da calagem superficial na correção da acidez de camadas mais profundas (PAVAN & MIYAZAWA, 1998; MIYAZAWA et al., 1999; ZIGLIO et al., 1999). A influência de resíduos orgânicos de plantas na química de solos ácidos desperta um interesse especial em razão da alta produção de biomassa das principais culturas utilizadas em vários sistemas agrícolas no

Brasil (CALEGARI et al, 1993; CHAVES et al, 1997). Entretanto, a eficiência de extratos vegetais na neutralização da acidez da camada subsuperficial e no transporte de cátions polivalentes para o subsolo foi demonstrada por meio de estudos realizados em laboratório, com quantidades de resíduos muito superiores às introduzidas a cada ano no sistema plantio direto. Deve-se considerar ainda que os efeitos de compostos orgânicos solúveis presentes em plantas de cobertura sobre a química de solos ácidos são de curto prazo (MIYAZAWA et al., 1993) e se contrapõem aos efeitos de longo prazo associados com a dinâmica da matéria orgânica do solo (FRANCHINI et al., 2004). O cultivo de plantas leguminosas e o uso de fontes inorgânicas de nitrogênio na rotação de culturas em plantio direto podem causar acidificação do solo com o tempo e anular o efeito de plantas de cobertura na neutralização da acidez. As alterações químicas do solo provocadas em função da calagem na superfície, na ausência e na presença de cobertura de aveia-preta, foram avaliadas em um Latossolo Vermelho argilo-arenoso, manejado há cinco anos em sistema plantio direto na região centro-sul do Paraná (CAIRES et al., 2006a). O calcário, em doses de até  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ , foi aplicado em 2000 e foram realizados dois cultivos, sem e com aveia-preta em 2001 e 2002, antecedendo as culturas de milho e soja. O resíduo de aveia-preta mantido na superfície do solo ( $4 \text{ t ha}^{-1}$  de massa seca de aveia por ano durante dois anos) não ocasionou benefícios à ação da calagem superficial na correção da acidez de camadas do subsolo. A cobertura de aveia-preta somente aumentou o teor de  $\text{K}^+$  trocável no solo na camada de 5–10 cm.

No sistema plantio direto, o calcário apresenta reação mais lenta e maior efeito residual, o que pode estar associado à não-mobilização do solo e à menor taxa de mineralização da matéria orgânica, quando comparada com o sistema convencional de preparo (SOUZA, 2000). Por esse motivo, calcários mais finos e com maior PRNT devem corrigir de forma mais eficiente a acidez do solo quando aplicados na superfície em plantio direto. Além disso, como os trabalhos levantados na literatura não mostram clareza dos mecanismos envolvidos na melhoria das condições de acidez do subsolo por meio da calagem na superfície em sistema plantio direto, a influência da movimentação física do calcário por meio do uso de corretivos com granulometria mais fina necessita ser mais bem investigada em condições de campo.

## 2.5 Equilíbrio de Cátions no Solo pelo uso de Calcário Calcítico e Dolomítico

Além da importância da calagem para a correção da acidez do solo, é necessário considerar também a relação Ca/Mg dos corretivos. O emprego de corretivos da acidez com relações inadequadas de Ca e Mg pode resultar em desbalanços nutricionais e induzir deficiências nutricionais nas plantas (ROSOLEM et al., 1984). O fornecimento equilibrado de cátions básicos e a eficiência das plantas em obter quantidades suficientes de um nutriente depende da associação dos valores da relação Ca/Mg do corretivo com aqueles encontrados na análise do solo. Isso porque a taxa de absorção de um nutriente pela planta depende dos cátions dissolvidos na solução do solo em equilíbrio dinâmico com os cátions do complexo de troca (BÜLL, 1986).

A calagem superficial em sistema plantio direto, ao aumentar os teores de Ca e Mg trocáveis no solo, pode proporcionar desequilíbrios nutricionais de cátions na planta, principalmente entre Mg e K (CAIRES et al., 2002). Em um estudo realizado com a cultura do milho foi observada redução na concentração de K nas folhas com o aumento da relação  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$  no solo (0–20 cm), em decorrência da aplicação de calcário dolomítico (CAIRES et al., 2002). As relações obtidas entre a concentração de K e a de Ca, Mg e Ca/Mg no tecido foliar de milho mostraram que a redução no teor foliar de K foi acompanhada por aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas, evidenciando efeito substitutivo de K por Ca e Mg. Observou-se ainda que a concentração de K no tecido foliar aumentou linearmente com o acréscimo da relação Ca/Mg nas folhas, mostrando a ocorrência de antagonismo entre Mg e K. Resultados semelhantes relacionados à influência do Ca e do Mg sobre a absorção de K pelo milho também foram obtidos em outros trabalhos (LOUÉ, 1963; ANDREOTTI et al., 2000). Munoz Hernandez & Silveira (1998) verificaram que as maiores produções de matéria seca de milho foram obtidas na relação 3:1 de Ca e Mg. Em um estudo envolvendo aplicação superficial de calcário dolomítico e gesso em plantio direto verificou-se que a produção de grãos de milho aumentou linearmente com o aumento na disponibilidade de Ca trocável na camada superficial do solo, até 56% de Ca trocável na CTC a pH 7,0 (CAIRES et al., 2004). Resposta semelhante foi obtida para a cultura do trigo (CAIRES et al., 2002), mas o mesmo efeito não tem sido observado para a cultura da soja (CAIRES et al., 1998; 2003). Assim, as culturas de milho e trigo parecem ser mais dependentes do balanço de cátions no solo do que a cultura da soja.

A velocidade com que o corretivo reage com o solo é influenciada pela sua taxa de dissolução, devido à variação no conteúdo de carbonatos presentes no corretivo. As reações de solubilização em condições normais de solos ácidos são lentas e dependem basicamente da velocidade de difusão dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  no solo, a partir da partícula do corretivo, do grau de acidez do solo e da presença de água. Estima-se que a solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  é de  $0,014 \text{ g L}^{-1}$  e a do  $\text{MgCO}_3$  é de  $0,106 \text{ g L}^{-1}$  a  $25^\circ \text{C}$ , demonstrando que o carbonato de cálcio apresenta menor solubilidade em água do que o carbonato de magnésio (TEDESCO & GIANELLO, 2000; ALCARDE & RODELLA, 2003). Entretanto, Barber (1967) afirma que, o calcário dolomítico, apesar de apresentar maior poder de neutralização em relação ao equivalente em  $\text{CaCO}_3$ , reage mais lentamente em solos ácidos do que o calcário calcítico, devido a maior estabilidade da dolomita comparada à calcita, o que demonstra um comportamento diferente entre os sais puros e os minerais que contém esses carbonatos, Lindsay (1979) observou que o calcário calcítico foi cerca de três vezes mais solúvel do que o calcário dolomítico, em condições equivalentes de pureza do material, pH e pressão parcial de  $\text{CO}_2$ .

Hortensine & Ozaki (1961) e Adams & Henderson (1962), citados por Holzschuh (2007), observaram que ocorre redução na disponibilidade e no aproveitamento do Mg, quando o pH do solo é elevado pela adição de  $\text{CaCO}_3$ . De maneira semelhante, Moore et al. (1961) verificaram que a absorção de Mg foi reduzida significativamente pela adição de Ca quando comparada com um sistema sem adição de Ca, sugerindo que o máximo influxo de Mg é dependente, não apenas dos níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  na solução do solo, mas também da presença de outros cátions como  $\text{K}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ . Por outro lado, redução da absorção de Ca pela presença de altas concentrações de Mg também tem sido relatada (DECHEN, 1983).

Para Barber (1995) citado por Holzschuh (2007), a concentração dos nutrientes na solução requerida para atingir a máxima taxa de crescimento das plantas não está diretamente relacionada com a concentração dos nutrientes no tecido vegetal. Isto porque pode ocorrer absorção superior à necessidade metabólica da célula, causando a redistribuição e compartimentalização de nutrientes em organelas celulares, tal como ocorre no vacúolo (MALAVOLTA, 2006), ou ainda pela regulação da entrada e saída de íons da célula, em resposta à manutenção de concentrações ideais ao metabolismo celular (TAIZ & ZEIGER, 2004).

A disponibilidade de nutrientes é governada principalmente pela taxa com que os íons se movem no solo até a superfície radicular (BARBER et al., 1962 citados por

HOLZSCHUH, 2007). Como a aproximação do Ca e do Mg até as raízes ocorre principalmente por fluxo de massa, as concentrações na superfície das raízes são, na maioria das vezes, muito superiores à necessidade e capacidade de absorção das plantas (BARBER, 1962; 1995), o que pode ser um indício de que, as relações Ca/Mg no solo são pouco relevantes no processo de absorção pelas raízes.

Simson et al. (1979) observaram que o suprimento de Ca e Mg para as raízes pelos mecanismos de fluxo de massa e interceptação radicular foi superior em duas até quatro vezes a taxa de absorção. Al-Abbas & Barber (1964) obtiveram resultados semelhantes para o Ca, mas observou-se que o fluxo de massa não supriu todo o Mg requerido pelas plantas de soja, sugerindo que a difusão também ocorreu. Na avaliação do suprimento de Ca e Mg para a cultura do arroz, Ruiz et al. (1999) observaram que o mecanismo de fluxo de massa supriu todo o Ca e Mg requerido pelas plantas.

Embora os resultados indiquem que o conteúdo dos cátions na planta varie em função dos teores de Ca e Mg e das relações entre esses cátions no solo, o crescimento e a produtividade das culturas nem sempre são significativamente afetados por esses atributos. Segundo Hunter (1949), Moreira et al. (1999, 2000) e Gomes et al. (2002), o rendimento da matéria seca da alfafa não foi alterado quando foram empregadas diferentes relações molares entre Ca e Mg presentes no calcário. Resultados semelhantes foram relatados por Foy & Barber (1958), Gargantini (1974), Ologunde & Sorensen (1982), Fox & Piekielek (1984), Muchovej et al. (1986), Oliveira (1993), Reid (1996) e Oliveira & Parra (2003), os quais verificaram ausência de efeito de amplas variações na relação Ca/Mg do solo no rendimento de diversas culturas. Key et al. (1961) observaram que a saturação por Mg no solo tinha pouca influência na quantidade de Mg absorvida pelas plantas, tendo em vista que o Mg trocável foi um índice de disponibilidade mais satisfatório. Liebhardt (1981) verificou que os rendimentos de soja foram pouco influenciados pela saturação por Ca e Mg no solo, e Mclean & Carbonell (1972) não observaram variações no rendimento de milho e alfafa, quando os valores de saturação por Mg e Ca no solo variaram de 5% (Mg):75% (Ca) a 25% (Mg):75% (Ca). Resultados semelhantes foram também obtidos por (LIEROP et al., 1979; FOX & PIEKIELEK (1984).

Munhoz Hernandez & Silveira (1998) observaram que a produção de matéria seca de milho foi influenciada pela relação Ca/Mg em interação com a saturação por bases do solo. Nesse estudo, a saturação por bases de 50% mostrou maior eficiência no rendimento de matéria seca da cultura quando a relação Ca/Mg no solo variou de 2:1 a

3:1. Já, para saturação por bases de 70%, a relação Ca/Mg não ocasionou alterações significativas no rendimento de matéria seca. Com o aumento demasiado da relação Ca/Mg no solo notaram-se decréscimos na produção de matéria seca das plantas, principalmente para a saturação por bases de 50%, o que foi atribuído aos baixos teores de Mg trocáveis associados ao desequilíbrio da relação Ca/Mg no solo provocado pelos corretivos com alta proporção de Ca, possivelmente pela deficiência de Mg induzida Silva (1980) observou que os melhores rendimentos de milho, cultivado em vasos que continham solos típicos de cerrado, foram obtidos com relação Ca/Mg de 3:1.

O uso de corretivos com baixos teores de Mg pode restringir os efeitos benéficos esperados com a correção da acidez por provocar desbalanço nutricional na planta (ROSOLEM; MACHADO; BRINHOLI, 1984). Holzschuh (2007) sugere que deve ser evitado o uso de calcários calcíticos quando os teores de Mg no solo estão enquadrados nas faixas de baixo ou muito baixo. Em plantas de milho, Arantes (1983) e Carmello (1989) observaram que o aumento da relação Ca/Mg no solo provocou redução na produção de matéria seca da parte aérea. Esta preocupação é pertinente, especialmente em algumas regiões agrícolas do Brasil, que dispõem de compostos formados basicamente por óxidos e hidróxidos de Ca e muito pobres em Mg, sendo empregados, muitas vezes, de forma indiscriminada como corretivos da acidez do solo (ALBUQUERQUE et al., 2002). Num estudo realizado em casa de vegetação, em um Neossolo Quartzarênico, com aplicação de corretivos com relações Ca/Mg crescentes, observou-se que as relações mais altas aumentaram o teor de Ca e diminuíram o de Mg e P no tecido vegetal do milho, possivelmente em razão do efeito sinérgico entre P e Mg (MUNOZ HERNANDEZ & SILVEIRA, 1998). Por outro lado, Lund (1970) relataram que altas concentrações de Mg em relação aos teores de Ca na solução reduziram significativamente o crescimento da soja. Relações equilibradas entre Ca, Mg e K no complexo de troca de um Latossolo Distroférrico de Cambé (PR) aumentaram a produtividade da soja (WATANABE et al., 2005).

Poucos estudos compararam as respostas de rendimento das culturas à aplicação de calcário calcítico e dolomítico. Davis (1951) avaliou a resposta das culturas à adição de diferentes doses de calcário calcítico e dolomítico com tamanhos de partículas variando de 0,074 a 4,76 mm. Verificou-se que a aplicação de calcário dolomítico proporcionou maior rendimento de trevo vermelho (*Trifolium incarnatum* L.), mas o calcário calcítico propiciou maior rendimento de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Haby et al. (1978), trabalhando em solos do Texas com pH próximo de 5.2, não encontraram

respostas significativas para as culturas de milho e capim-pé-de-galinha (*Cynodon dactylon* L. Pers.), após a aplicação de calcário calcítico ou dolomítico com diferentes taxas granulométricas (partículas variando de 0,15-2 mm).

A revisão realizada indica que não há informações suficientes a respeito da fonte de calcário e da faixa granulométrica ideal para a correção da acidez do solo, visando adequada nutrição e produtividade das culturas, especialmente em solos sob plantio direto.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do Experimento e Caracterização de Solo e Clima

Dois experimentos foram realizados em área de lavoura comercial da região Centro-Sul do Paraná, no município de Tibagi (Figura 1), em dois solos com diferentes classes texturais, sendo um na Fazenda Tapejara ( $24^{\circ} 40' 34,7''$  de latitude sul e  $50^{\circ} 26' 52,5''$  de longitude oeste, e altitude de 1175 m) e outro na Fazenda Água Nova ( $24^{\circ} 42' 40,3''$  de latitude sul e  $50^{\circ} 14' 20,2''$  de longitude oeste, e altitude de 1160 m).

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  $18^{\circ}\text{C}$ , verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de  $22^{\circ}\text{C}$  e sem estação seca definida (IAPAR, 2011).

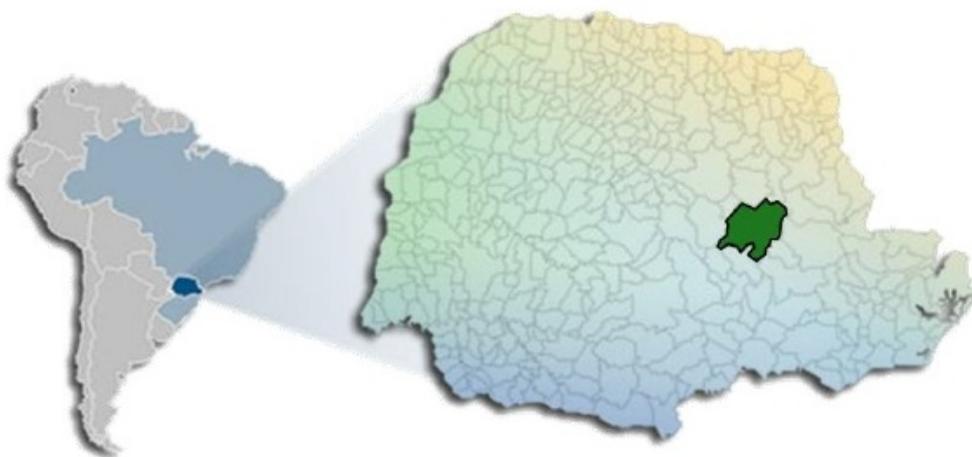


Figura 1. Localização geográfica do município de Tibagi (destaque em verde), dentro do contexto estadual e nacional.

O solo da Fazenda Tapejara foi um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) textura muito argilosa, manejado há cinco anos sob plantio direto. O solo da Fazenda Água Nova foi um Neossolo Litólico (RLd) textura muito arenosa, manejado há seis anos sob plantio direto. Os resultados das análises químicas (RAIJ & QUAGGIO, 2001) e granulométricas (EMBRAPA, 1997) dos solos (0–20 cm), antes da implantação dos experimentos nas Fazendas Tapejara e Água Nova, estão apresentados na (Tabela 1). Os dois solos apresentavam alta acidez e teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável considerado tóxico para as plantas. A relação Ca/Mg trocáveis era de 2,5 no solo argiloso (Fazenda Tapejara) e de 3,5 no solo arenoso (Fazenda Água Nova).

Tabela 1. Resultados de análises químicas e granulométricas do solo, da camada de 0–20 cm, antes da implantação dos experimentos na Fazenda Tapejara e na Fazenda Água Nova.

pH (CaCl <sub>2</sub> )	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P <sup>(1)</sup>	M.O	V <sup>(2)</sup>	ARGILA	SILTE	AREIA
	----- mmolc/dm <sup>3</sup> -----					mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	%	g/kg	g/kg	g/kg
Fazenda Tapejara – solo argiloso											
4,4	78,0	7,5	21,0	8,5	3,1	19,2	39,6	29,5	713,0	220,5	66,5
Fazenda Água Nova – solo arenoso											
4,4	93,5	6,5	30,5	8,5	2,9	26,1	46,4	31,0	184,0	84,0	732,0

<sup>(1)</sup>P = Extração pelo método da resina de troca aniônica. <sup>(2)</sup>V = Saturação por bases.

### 3.2 Delineamento Experimental

Nos dois experimentos, o delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial  $2 \times 2 \times 4$ , com três repetições. O tamanho das parcelas foi de 9 m  $\times$  7 m. Os tratamentos foram constituídos de duas fontes de calcário: calcítico e dolomítico, duas faixas de poder relativo de neutralização total (PRNT): faixa B (60–75%) e faixa D (“filler” > 90%) e quatro doses de calcário, sendo um controle sem calagem (dose zero) e três doses calculadas para elevar a saturação do solo, na camada de 0–20 cm, a aproximadamente 50, 70 e 90%. As doses de calcário empregadas (PRNT = 100%) na Fazenda Tapejara foram: 0, 2,25, 4,5 e 6,75 t ha<sup>-1</sup>, e na Fazenda Água Nova foram: 0, 2,6, 5,2 e 7,8 t ha<sup>-1</sup>. O calcário, nos dois experimentos, foi aplicado a lanço sobre a superfície em agosto de 2010.

As características dos calcários utilizados nos dois experimentos estão apresentadas na tabela 2. As doses de calcário empregadas nos experimentos foram devidamente corrigidas de acordo com o PRNT de cada corretivo da acidez. As determinações de granulometria, PN, RE e PRNT foram realizadas de acordo com métodos oficiais de análise de corretivos (MANUAL..., 2007).

### 3.3 Culturas

Na Fazenda Tapejara cultivou-se milho (*Zea mays* L.) em 2010–11, aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) na estação de outono–inverno de 2011, e soja (*Glycine Max* L.

Merril) em 2011–12. Na Fazenda Água Nova cultivou-se soja em 2010–11, aveia preta na estação de outono–inverno de 2011, e milho em 2011–12.

Tabela 2. Características dos corretivos da acidez utilizados nos experimentos da Fazenda Tapejara e da Fazenda Água Nova.

Característica	Unidade	Calcítico (Faixa B)	Dolomítico (Faixa B)	Calcítico (Faixa D)	Dolomítico (Faixa D)
CaO	g/kg	398,7	281,2	456,1	252,4
MgO	g/kg	49,8	161,5	28,8	176,3
Retido na P10	%	0,81	0,13	0,14	0,13
Retido na P20	%	11,79	10,40	0,26	2,73
Retido na P50	%	27,94	24,05	0,61	16,74
Passante na P50	%	59,46	65,42	98,99	80,4
PN	%	85,4	90,4	90,8	101,7
RE	%	78,6	81,9	99,4	91,0
PRNT	%	67,1	74,0	90,3	92,6

Fundação ABC. Castro – PR, julho 2010.

### 3.3.1 Fazenda Tapejara

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 de base empregada 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 uréia.

A semeadura da soja, cv BRS 284 foi realizada em novembro de 2011, após cultivo de aveia preta para a formação de 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 fórmula 14-34-00 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na cultura antecessora de aveia preta.

As culturas de milho e soja 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. Todas as operações de semeadura, adubação, controle de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizadas de forma mecanizada.

### 3.3.2 Fazenda Água Nova

A semeadura da soja, cv. NA5909 RG, foi realizada 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 realizada 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. O genótipo Waxy tem características de milho ceroso para a produção de amidos especiais. 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. A adubação em cobertura foi realizada 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, na forma de 25-00-25.

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. Todas as operações de semeadura, adubação, controle de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizadas de forma mecanizada.

### 3.4 Condições Climáticas durante os Cultivos de Milho e Soja

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 2. A precipitação pluvial total durante todo o ciclo de

desenvolvimento das culturas de milho e soja foi da ordem de 1040 mm, em 2010-11, e de 1380 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.

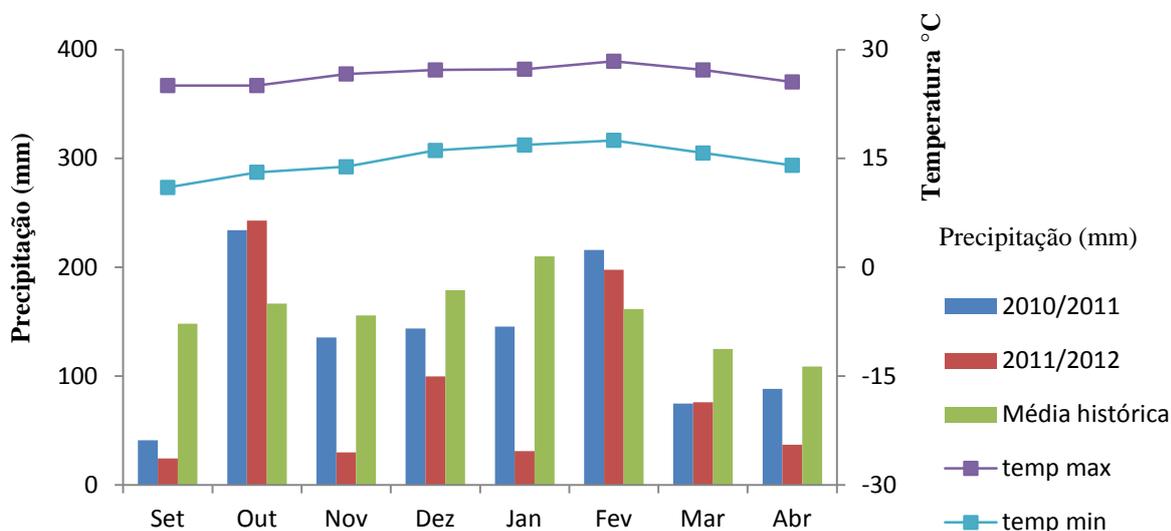


Figura 2. Dados médios mensais de precipitação pluvial histórica da região (36 anos), de precipitação pluvial durante o período de realização do experimento (setembro de 2010 a abril de 2011 e setembro de 2011 a abril de 2012) e de temperaturas máximas e mínimas ocorridas no mesmo período, em Tibagi, PR (FUNDAÇÃO ABC, 2012) e (INMET 2012).

### 3.5. Avaliações

#### 3.5.1 Análises Químicas do Solo

As amostras de solo foram retiradas nos dois experimentos nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostragens foram realizadas aos 12 meses após a aplicação dos corretivos da acidez, depois da colheita das culturas de milho ou soja. A precipitação pluvial ocorrida desde a aplicação dos corretivos até o momento da amostragem do solo foi de 1589 mm.

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 horas e, após, foram moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Nessas

amostras determinaram-se: (i) pH em solução de cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ )  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e H+Al em solução tampão SMP, por potenciometria, (ii) alumínio (Al) por meio de extração com solução de cloreto de potássio (KCl)  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e quantificação por titulometria com solução de hidróxido de sódio (NaOH)  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ; (iii) cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis por meio de extração com solução de KCl  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e com resina de troca catiônica, e quantificação por complexometria do etileno diaminotetraacético (EDTA)  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  para Ca e Mg extraídos com KCl  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$  e por espectrofotometria de absorção atômica para Ca e Mg extraídos com resina de troca catiônica; (iv) potássio (K) trocável e fósforo (P) disponível, por meio de extração com solução de Mehlich-1 [ácido clorídrico (HCl)  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  + ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $0,025 \text{ mol/L}$ ] e com resina de troca catiônica (K) e de troca aniônica (P), e quantificação por espectrofotometria de emissão em chama para K e espectrofotometria de absorção molecular para P; (iv) enxofre disponível, na forma de sulfato ( $\text{S-SO}_4^{2-}$ ), extraído com solução de acetato de amônio ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ )  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético (HOAc)  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e quantificação por turbidimetria com sulfato de bário.

As determinações de pH, H+Al, Ca (KCl), Mg (KCl), K e P (Mehlich-1) e C-orgânico foram realizadas de acordo com os métodos descritos por (Pavan et al., 1992). As determinações de P (resina trocadora de ânions), Ca, Mg e K (resina trocadora de cátions) foram realizadas de acordo com os métodos descritos por (RAIJ et al., 1987). As análises de  $\text{S-SO}_4^{2-}$  foram feitas por extração com solução de fostato monocálcico  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e determinação pelo método turbidimétrico (FOX et al., 1987). A soma de bases (SB) foi representada pelo somatório das concentrações trocáveis de Ca, Mg e K, extraídos por resina. A saturação por bases (V) foi estimada pela divisão da SB pela capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7 [CTC = SB + (H+Al)].

### 3.5.2 Diagnose Foliar nas Culturas de Milho e Soja

Por ocasião do florescimento das culturas de milho e soja, no segundo cultivo, realizou-se a coleta de folhas em 30 plantas por parcela. No caso do milho, retirou-se, de cada planta, o terço médio da folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, sem nervura. Para a soja retirou-se, de cada planta, o terceiro trifólio a partir do ápice. Essas amostras foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a  $60^\circ\text{C}$  até atingir massa constante. Posteriormente, essas

amostras foram moídas em moinho do tipo “Willey” equipado com peneira de malha 0,85 mm e guardadas em recipientes plásticos até a realização das análises químicas. 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). O teor de N foi determinado após digestão sulfúrica e leitura pelo método semi-micro-Kjeldahl. As concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn e Mn foram determinadas por meio de digestão nítrico-perclórico, e leitura por colorimetria do metavanadato para P, espectrofotometria de emissão de chama para K, turbidimetria do sulfato de bário para S e espectrofotometria de absorção atômica para Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn.

### 3.5.3 Produtividade de Grãos de Milho e Soja

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 (bordaduras). O teor de água nos grãos foi corrigido para 130 g kg<sup>-1</sup>.

### 3.6 Análises Estatísticas

As análises de variância foram realizadas seguindo o modelo fatorial 2 × 2 × 4. Equações de regressão por polinômios ortogonais foram ajustadas em função das doses de calcário. As fontes e as faixas de PRNT dos corretivos foram comparadas pelo teste F. Na ausência de interação significativa entre doses × fontes, doses × faixas de PRNT e fontes × faixas de PRNT dos corretivos, utilizaram-se as médias das observações e, no caso de interação significativa, realizou-se o desdobramento. Consideraram-se apenas as regressões significativas ao nível de 5%, sendo utilizado como critério para a escolha do modelo, a magnitude dos coeficientes de determinação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Alterações nos Atributos Químicos do Solo

#### 4.1.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso

##### 4.1.1.1 Acidez Ativa (pH), Saturação por Bases, Acidez Trocável (Al) e Saturação por Al

As doses de calcário, após 12 meses da aplicação, aumentaram o pH na camada superficial do solo (0-5 cm) e, em menor magnitude, na camada de 5-10 cm (Figura 3). Apesar de as doses calcário terem apresentado efeito significativo no pH do solo da camada de 10-20 cm (Figura 3), o aumento no pH ocorrido com a calagem nessa camada foi insignificante e não teve reflexos na saturação por bases.

A saturação por bases do solo, de modo semelhante ao que foi observado para o pH, também foi aumentada de forma mais expressiva na camada superficial do solo (0-5 cm) e em menor magnitude, na camada de 5-10 cm (Figura 3). Observou-se efeito significativo das doses de calcário na saturação por bases da camada de 20-40 cm, mas o aumento na saturação por bases dessa camada ocasionado pelas doses de calcário foi totalmente inexpressivo do ponto de vista agrônomo.

O teor de Al e a saturação por Al do solo foram reduzidos nas camadas de 0-5 e 5-10 cm com as doses de calcário aplicadas na superfície, mas os efeitos foram mais pronunciados na camada mais superficial do solo (0-5 cm) (Figura 3).

As alterações no pH, na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com fontes e as faixas de PRNT dos corretivos, são mostradas na Tabela 3. Nota-se o calcário calcítico proporcionou maior reação no solo do que o calcário dolomítico. Isso porque o pH foi maior nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o teor de Al trocável foi menor na camada de 0-5 cm, a saturação por bases foi maior nas camadas de 5-10, 20-40 e 40-60 cm, e a saturação por Al foi mais baixa nas camadas de 20-40 e 40-60 cm com o emprego de calcário calcítico em comparação ao dolomítico. O calcário de granulometria mais fina, faixa D – “filler”, também proporcionou maior reação no solo do que o calcário faixa B, tendo em vista que o pH foi maior na camada superficial do solo (0-5 cm), a saturação por bases foi maior nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, e o teor de Al trocável foi mais baixo na camada de 20-40 cm com a aplicação de calcário faixa D – “filler” em relação ao calcário faixa B.

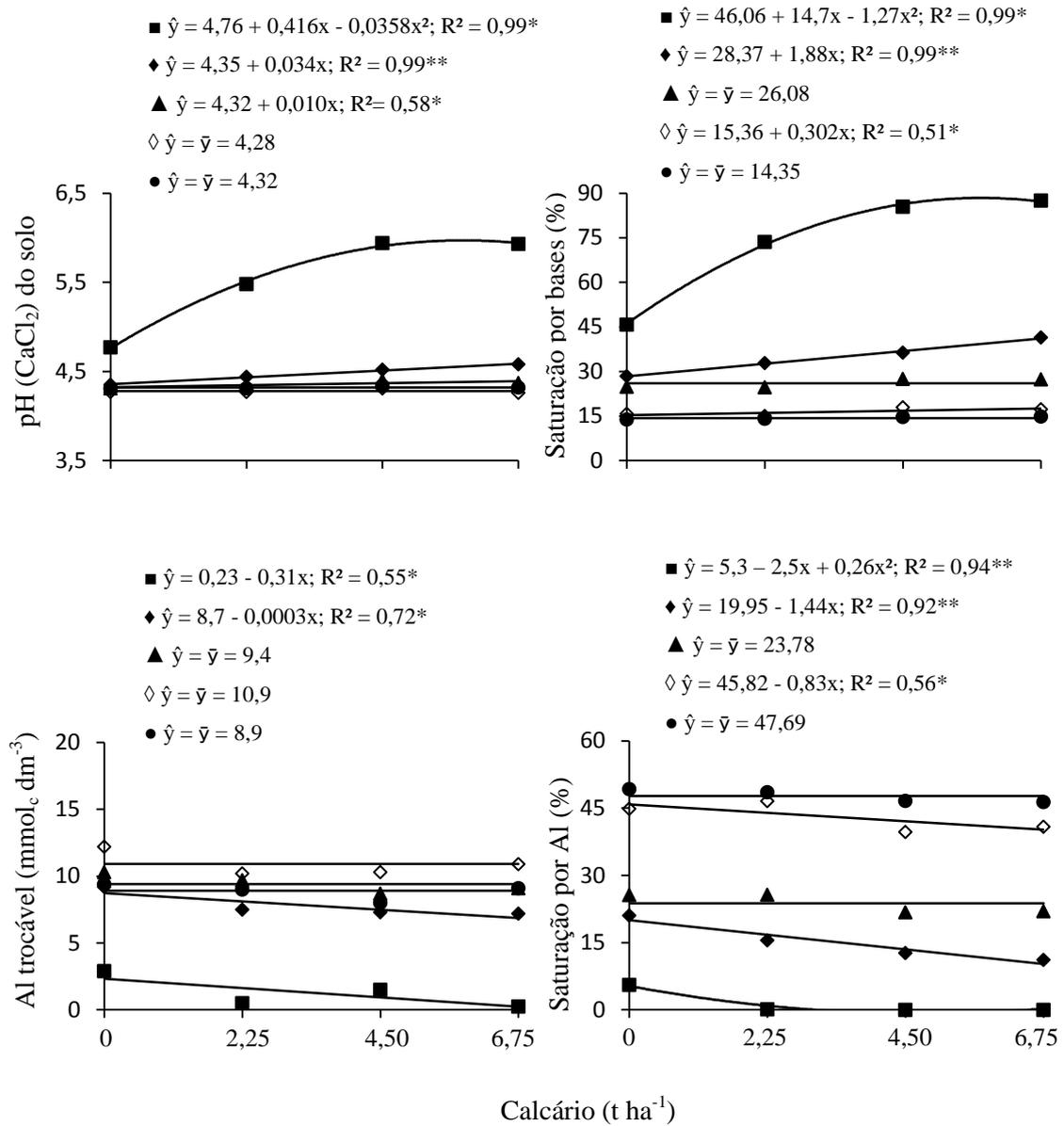


Figura 3. Alterações no pH em CaCl<sub>2</sub>, na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al do solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Tabela 3. Alterações no pH em CaCl<sub>2</sub>, na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Saturação por bases	Al trocável	Saturação por Al
		%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%
Fonte			0-5 cm	
Dolomítico	5,3	71,9	0,2	1,6
Calcítico	5,7	74,2	0,0	1,1
Valor F	11,7**	1,9ns	5,4*	0,8ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	5,4	71,1	0,2	1,9
Faixa D – “filler”	5,7	75,0	0,1	0,8
Valor F	5,7*	5,6*	3,8ns	3,5ns
Fonte			5-10 cm	
Dolomítico	4,4	32,1	0,8	30,4
Calcítico	4,5	37,4	0,7	12,2
Valor F	4,8*	6,95*	3,8ns	2,1ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,4	32,2	0,7	13,1
Faixa D – “filler”	4,5	37,2	0,7	29,5
Valor F	3,6ns	6,1*	0,2ns	1,7ns
Fonte			10-20 cm	
Dolomítico	4,3	25,4	0,9	24,9
Calcítico	4,3	27,4	0,9	22,6
Valor F	0,03ns	2,1ns	0,7ns	1,2ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,3	27,3	0,9	22,1
Faixa D – “filler”	4,3	25,6	0,9	25,4
Valor F	0,03ns	1,5ns	0,0ns	2,3ns
Fonte			20-40 cm	
Dolomítico	4,2	15,7	1,1	44,9
Calcítico	4,2	17,3	1,1	41,1
Valor F	0,06ns	4,2*	0,4ns	4,7*
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,2	16,8	1,1	43,9
Faixa D – “filler”	4,2	16,2	1,0	42,0
Valor F	3,2ns	0,6ns	5,1*	1,2ns
Fonte			40-60 cm	
Dolomítico	4,3	13,2	0,8	50,1
Calcítico	4,3	15,4	0,8	45,3
Valor F	0,05ns	9,3**	0,1ns	4,5*
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,3	14,8	0,8	46,3
Faixa D – “filler”	4,3	13,9	0,8	49,0
Valor F	0,5ns	1,4ns	0,0ns	1,5ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Na camada superficial do solo (0-5 cm), o pH foi influenciado significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 4). Nota-se que o calcário calcítico proporcionou maior reação do que o calcário dolomítico na camada superficial do solo, quando doses mais elevadas dos corretivos foram aplicadas. Esses resultados concordam com os obtidos por Gallo & Catani (1954), os quais observaram que a solubilidade dos calcários com alto teor de Ca foi mais elevada em relação aos calcários dolomíticos de igual granulometria.

De acordo com Barber (1967), o calcário dolomítico, apesar de apresentar maior poder de neutralização em relação ao equivalente em  $\text{CaCO}_3$ , reage mais lentamente do que o calcário calcítico em decorrência da maior estabilidade da dolomita comparada à calcita.

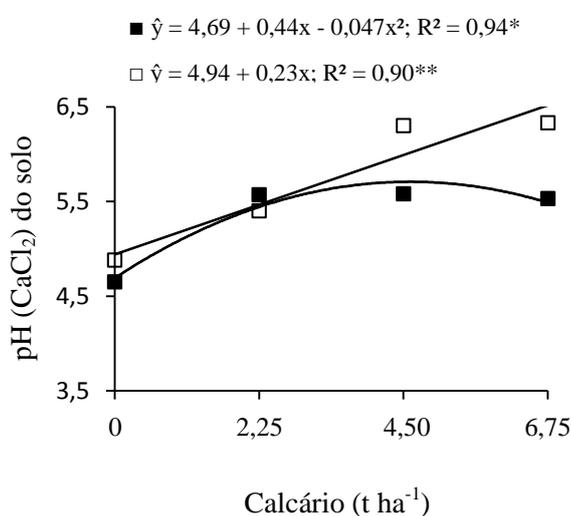


Figura 4. Alterações no em pH em  $\text{CaCl}_2$  do solo, na camada de 0-5 cm, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Na camada mais profunda do solo (40-60 cm), tanto a saturação por bases como a saturação por Al também foram influenciadas significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 5). O desdobramento da interação mostrou que a saturação por bases e por Al no subsolo (40-60 cm) não foi alterada pelas doses de calcário quando se utilizou calcário dolomítico; entretanto houve aumento linear na saturação por bases e redução linear na saturação por Al com o emprego das doses de calcário calcítico.

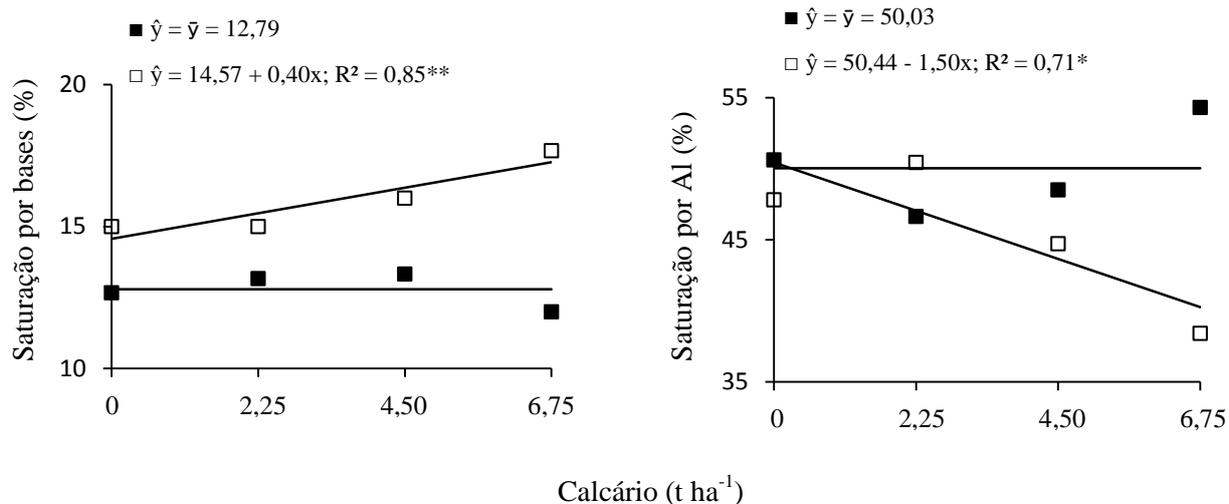


Figura 5. Alterações na saturação por bases e na saturação por Al do solo, na camada de 40-60 cm, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

As alterações nos atributos químicos do solo relacionados com a acidez em função da calagem na superfície em sistema plantio direto (Figura 3) mostraram claramente que houve amenização da acidez da camada superficial, em curto prazo. A amenização da acidez na camada superficial do solo foi mais pronunciada com o emprego de calcário calcítico, em doses mais elevadas, e de calcário faixa D – “filler”, independentemente da dose. Efeitos rápidos na redução da acidez, por meio da calagem na superfície em plantio direto, também foram observados em outros trabalhos realizados na região dos Campos Gerais no Paraná (CAIRES et al., 1998; 1999). Eficiência da aplicação superficial de calcário na correção da acidez de camadas superficiais do solo também foi observada em outros estudos realizados no sistema plantio direto (CAIRES et al., 1998; RHEINHEIMER et al., 2000a; FRANCHINI et al., 2001; MOREIRA et al., 2001; KAMINSKI et al., 2005; CAIRES et al., 2006a), mesmo depois de longos períodos da aplicação. 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 da camada superficial (CAIRES et al., 2002), a dose utilizada, o tempo de reação e a disponibilidade de água (CAIRES et al., 2005). Além, disso, os resultados indicaram que a magnitude de tais efeitos também depende da fonte de calcário empregada e da granulometria (Tabela 3).

Apesar de os efeitos da calagem na superfície terem sido mais acentuados na correção da acidez da camada superficial do solo (Figura 3), houve também aumento na saturação por

bases e redução na saturação por Al no subsolo (40-60 cm) depois de 12 meses da aplicação de calcário calcítico em doses mais elevadas (Figura 5). Como nas doses mais elevadas a reação do calcário calcítico foi maior do que a do dolomítico na camada superficial do solo (Figura 4), a melhoria nas condições de acidez do subsolo por meio do aumento na saturação por bases e redução na saturação por Al parece ter sido decorrente da mobilização de cátions da camada superficial em direção ao subsolo por meio da formação de complexos orgânicos, e não por movimentação de partículas finas de calcário pelo fluxo de água.

A mobilização de cátions pela formação de complexos orgânicos está relacionada ao fato de o solo, no sistema plantio direto, se manter constantemente coberto com resíduos de plantas. Durante a decomposição dos resíduos de plantas presentes na superfície do solo, há produção de ânions orgânicos, os quais podem formar complexos com cátions (Ca e Mg) da camada superficial e migrar para as camadas mais profundas do solo. Em subsuperfície, os cátions dos complexos podem ser deslocados pelo Al, diminuindo a acidez trocável e aumentando o conteúdo de bases trocáveis (HAYNES & MOKOLOBATE, 2001). Como nas maiores doses de calcário houve maior reação do calcário calcítico na camada superficial do solo (Figura 4). Embora o deslocamento vertical de partículas finas de calcário aplicadas na superfície, pela água percolada no solo, tenha sido demonstrado em um estudo realizado em casa de vegetação, utilizando colunas de PVC com amostras indeformadas retiradas de um Cambissolo Húmico argiloso há cinco anos sob plantio direto (Amaral et al., 2004b), os resultados obtidos no presente estudo, realizado no campo, demonstraram que esse não deve ser o mecanismo predominante da ação da calagem superficial na melhoria das condições de acidez do subsolo em plantio direto.

#### 4.1.1.2 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) Trocáveis

Para os dois procedimentos de extração, o aumento na disponibilidade de Ca e Mg trocáveis proporcionado pelas doses de calcário ocorreram principalmente na camada superficial do solo (0-5 cm) (Figura 6). Aumentos de pequena magnitude nos teores de Ca trocável nas camadas de 5-10 cm (resina) e 10-20 cm (KCl), e de Mg trocável na camada de 5-10 cm (resina), também foram observados com as doses de calcário aplicadas na superfície.

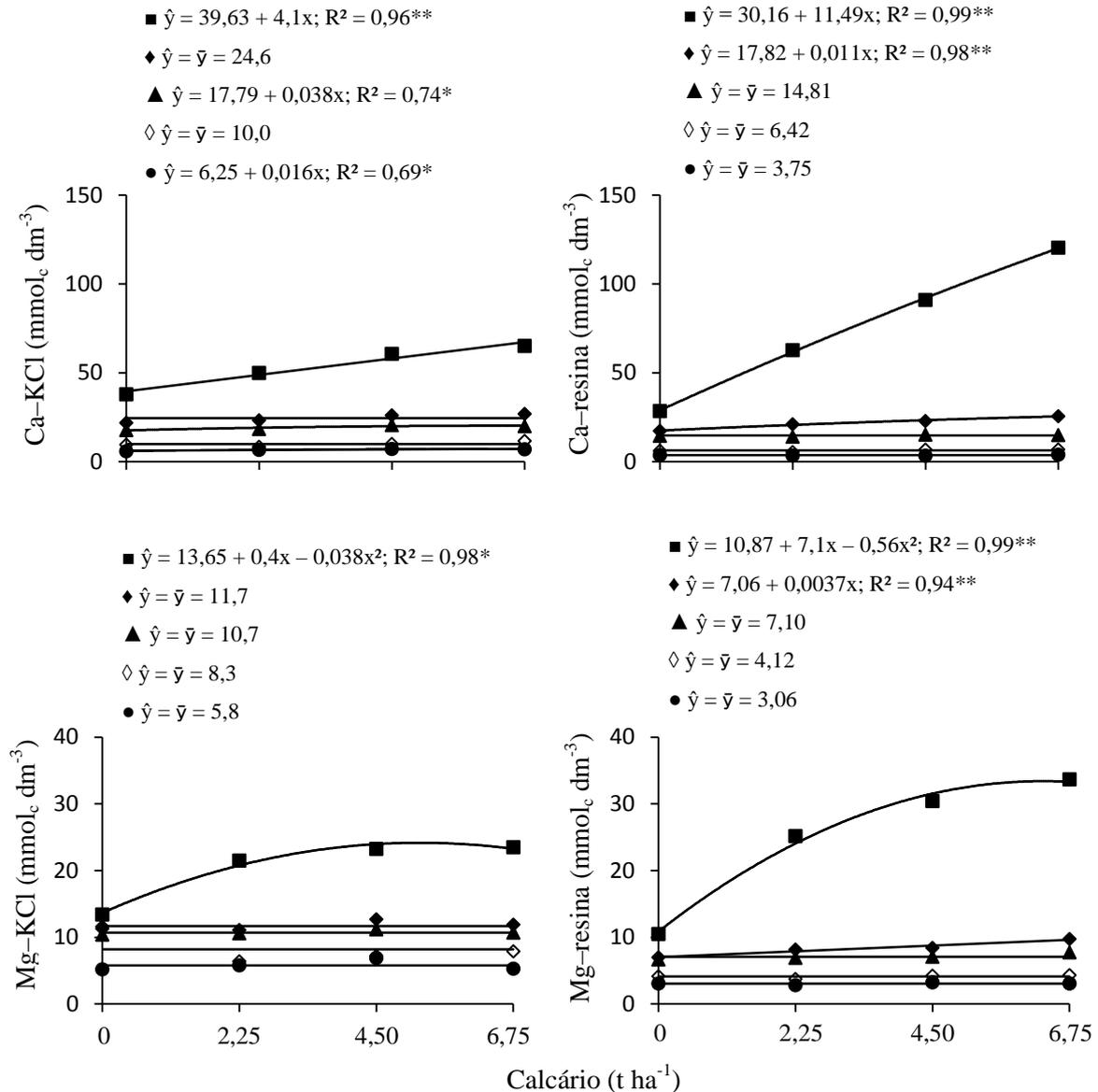


Figura 6. Teores de Ca e Mg trocáveis no solo extraídos com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

O calcário calcítico proporcionou maior teor de Ca trocável nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm) do que o calcário dolomítico, independentemente do procedimento de extração (KCl ou resina) (Tabela 4). Os teores de Ca trocável na camada superficial do solo (0-5 cm), extraídos com KCl e resina, foram influenciados significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 7). O desdobramento da interação mostrou que os aumentos nos teores de Ca trocável decorrentes da aplicação de calcário calcítico em relação ao dolomítico se tornaram mais pronunciados com o emprego das maiores doses dos corretivos, para os dois procedimentos de extração (KCl e resina). Na camada de 40-60 cm,

Tabela 4. Teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Ca-KCl	Ca-resina	Mg-KCl	Mg-resina
	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
Fonte	0-5 cm			
Dolomítico	43,2	67,9	26,0	30,3
Calcítico	63,7	87,5	14,8	19,6
Valor F	67,6**	11,1**	131,3**	77,7**
Faixa de PRNT				
Faixa B	49,6	83,3	19,3	28,5
Faixa D – “filler”	57,3	68,0	21,5	21,3
Valor F	9,4**	10,8**	4,9*	35,2**
Fonte	5-10 cm			
Dolomítico	21,7	17,8	12,1	8,1
Calcítico	27,6	25,8	11,4	8,6
Valor F	8,8**	19,1**	0,3ns	0,7ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	25,5	20,2	11,5	7,8
Faixa D – “filler”	23,7	23,4	11,9	8,8
Valor F	0,8ns	3,0ns	0,1ns	2,9ns
Fonte	10-20 cm			
Dolomítico	18,6	14,1	10,7	6,8
Calcítico	19,9	15,5	10,6	7,3
Valor F	1,5ns	2,2ns	0,0ns	0,5ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	19,2	14,2	10,6	6,7
Faixa D – “filler”	19,3	15,4	10,7	7,5
Valor F	0,0ns	1,5ns	0,0ns	1,6ns
Fonte	20-40 cm			
Dolomítico	10,0	5,9	7,4	3,8
Calcítico	10,1	6,9	6,9	4,3
Valor F	0,0ns	3,7ns	0,4ns	3,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	10,3	6,3	6,7	4,1
Faixa D – “filler”	9,7	6,5	7,5	4,1
Valor F	0,3ns	0,1ns	1,0ns	0,0ns
Fonte	40-60 cm			
Dolomítico	7,0	3,2	5,8	2,9
Calcítico	6,6	4,3	5,8	3,2
Valor F	1,3ns	11,9**	0,0ns	3,1ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	6,9	4,0	5,9	3,2
Faixa D – “filler”	6,7	3,5	5,8	2,9
Valor F	0,4ns	1,9ns	0,0ns	1,6ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

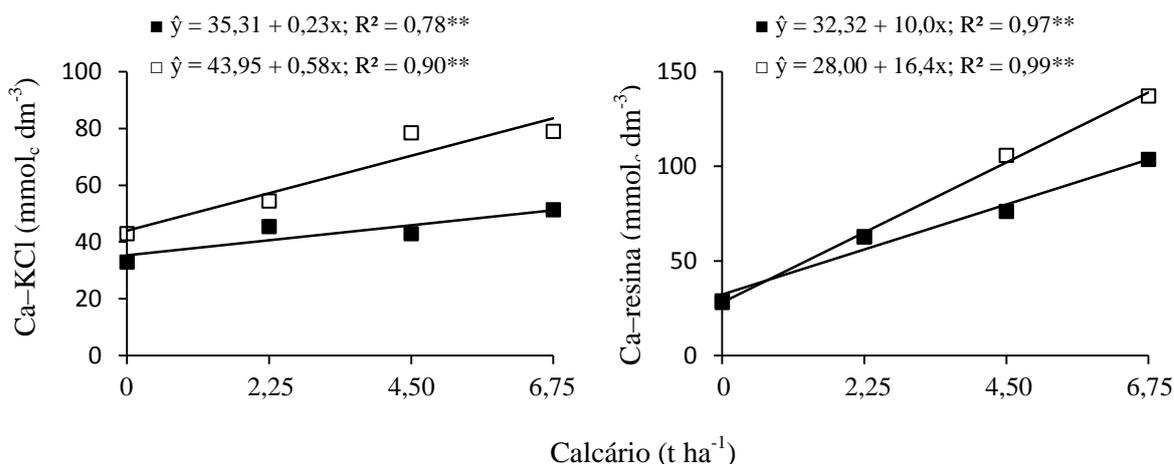


Figura 7. Teores de Ca trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .

a extração feita com resina acusou maior teor de Ca trocável com o emprego de calcário calcítico comparado com o dolomítico (Tabela 4).

O calcário dolomítico, por sua vez, propiciou maior teor de Mg trocável do que o calcário calcítico, somente na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente do procedimento de extração (KCl ou resina) (Tabela 4). Os teores de Mg trocável na camada superficial do solo (0-5 cm), extraídos com KCl e resina, também foram influenciados significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 8). O desdobramento da interação mostrou que os aumentos nos teores de Mg trocável no solo foram basicamente decorrentes da aplicação de calcário dolomítico. Isso certamente ocorreu porque o calcário dolomítico possui maior concentração de MgO na sua composição em comparação ao calcário calcítico. 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 Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl foram maiores na camada superficial do solo (0-5 cm) com a utilização de calcário faixa D – “filler” em relação ao calcário faixa B (Tabela 4), ocorrendo o inverso quando a extração foi feita com resina. Nas camadas subsuperficiais do solo, os teores de Ca e Mg trocáveis não foram influenciados pela faixa de PRNT dos calcários. Cabe destacar que os teores de Ca e Mg do calcário faixa B foram bem maiores quando extraídos com resina em relação ao KCl para as amostras da camada superficial do solo (0-5 cm). Nessa camada, a resina extraiu, em média, teores de Ca e

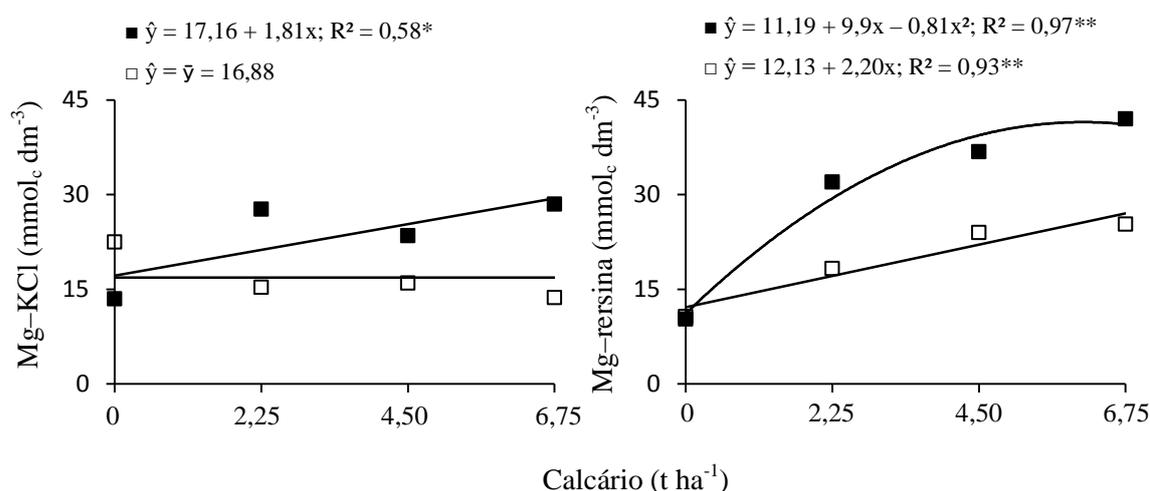


Figura 8. Teores de Mg trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Mg trocáveis superiores ao KCl, respectivamente em 68% e 48% quando foi empregado o calcário de granulometria mais grossa, faixa B. O mesmo efeito não foi tão evidente com o emprego de calcário de granulometria mais fina, faixa D – “filler”. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Soratto & Crusciol (2008) em um estudo com aplicação superficial de calcário faixa B, com PRNT de 71,2%, em sistema plantio direto. Tais efeitos devem ser decorrentes do aumento da superfície de contato das partículas de calcário com a solução ocasionado pela ação física da esfera de vidro empregada no método da resina. Considerando o longo tempo de agitação (16 h) na extração com resina, a dissolução de frações mais grossas do corretivo que ainda se encontram sem reagir no solo ocasionando superestimativa dos teores de Ca e Mg trocáveis.

O calcário tradicional, com cerca de 25% de suas partículas maiores que 0,30 mm, sempre proporciona teores mais elevados de Ca e Mg não-trocáveis no solo, sendo que de 6 para 20 meses após aplicação, a diferença torna-se ainda maior em comparação com o calcário de granulometria mais fina – “filler” (Quaggio et al., 1995; Rajj et al., 1996) verificaram que 14 meses após a incorporação de calcário faixa A, com PRNT de 59% e 52%, cerca de 21% e 36% das partículas maiores que 0,30 mm, respectivamente, ainda não haviam solubilizado no solo. Mesmo quando aplicado em superfície, a maior parte da fração granulométrica mais fina do calcário (< 0,30 mm) reage no solo em três meses, enquanto a fração com maior dimensão (0,84-2,0 mm) continua reagindo posteriormente (MELLO et al., 2003).

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que é preciso cuidado com a interpretação da análise de Ca e Mg trocáveis no solo pelo método da resina, quando é feita utilização de corretivos da acidez com granulometria mais grossa. A superestimativa dos teores de Ca e Mg trocáveis pelo método da resina acarreta erros no cálculo da saturação por bases (Tabela 3) que tendem a ser mais acentuados quanto maior a dose empregada e menor o tempo decorrido entre a aplicação e a análise de solo. A extração com solução de KCl é mais precisa do que com resina de troca catiônica para a determinação de Ca e Mg trocáveis no solo quando tais corretivos de granulometria mais grossa são aplicados na superfície em sistema plantio direto. Tais problemas relacionados com o procedimento de extração de Ca e Mg pela resina após a aplicação superficial de calcário em plantio direto são minimizados quando se utiliza corretivos da acidez com granulometria mais fina – “filler”.

#### 4.1.1.3 Relação Ca/Mg no Solo

Para os dois procedimentos de extração, houve aumento da relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm), após a aplicação dos corretivos da acidez. Considerando os valores médios das fontes e das faixas de PRNT dos corretivos, o aumento da relação Ca/Mg nessa camada, de acordo com as doses de calcário aplicadas, foi linear para a extração com KCl e quadrático com a resina (Figura 9). Entretanto, a relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) foi influenciada significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário. O desdobramento da interação mostrou que houve aumento linear da relação Ca/Mg no solo, na camada de 0-5 cm, com o emprego de doses crescentes de calcário calcítico (Figura 10). As doses de calcário dolomítico não ocasionaram alterações significativas na relação Ca/Mg no solo. A resposta obtida no aumento da relação Ca/Mg foi semelhante para extração com KCl e resina. Nas demais camadas do perfil (5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm) não ocorreram modificações significativas na relação Ca/Mg com as doses de calcário.

O calcário calcítico e o corretivo faixa D – “filler” proporcionaram maiores valores de relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente dos procedimentos de extração com KCl ou resina (Tabela 5). O calcário calcítico também proporcionou incremento significativo na relação Ca/Mg da camada de 5-10 cm, por ambos procedimentos de extração (KCl e resina). Porém, a relação Ca/Mg, na camada de 5-10 cm, foi menor para o calcário faixa D – “filler” em relação ao faixa B, quando a extração foi feita

com resina. A resina também acusou maior relação Ca/Mg na camada de 40-60 cm, com o emprego de calcário calcítico em relação ao dolomítico. Embora tais alterações tenham sido significativas, elas foram de muito pequena magnitude.

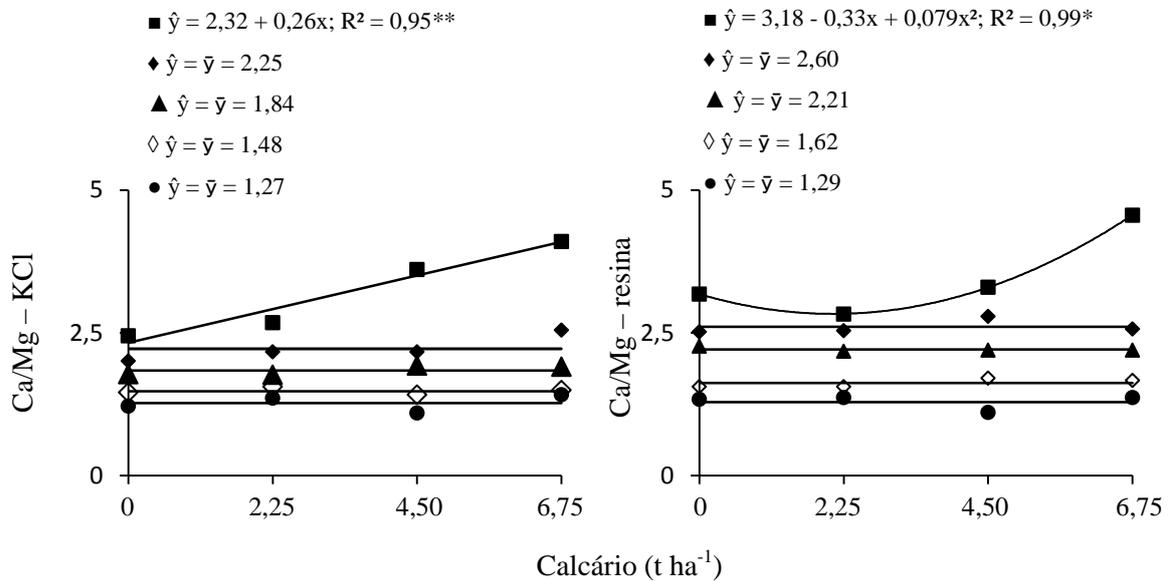


Figura 9. Relação Ca/Mg no solo por extração com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\* $p < 0,01$ .

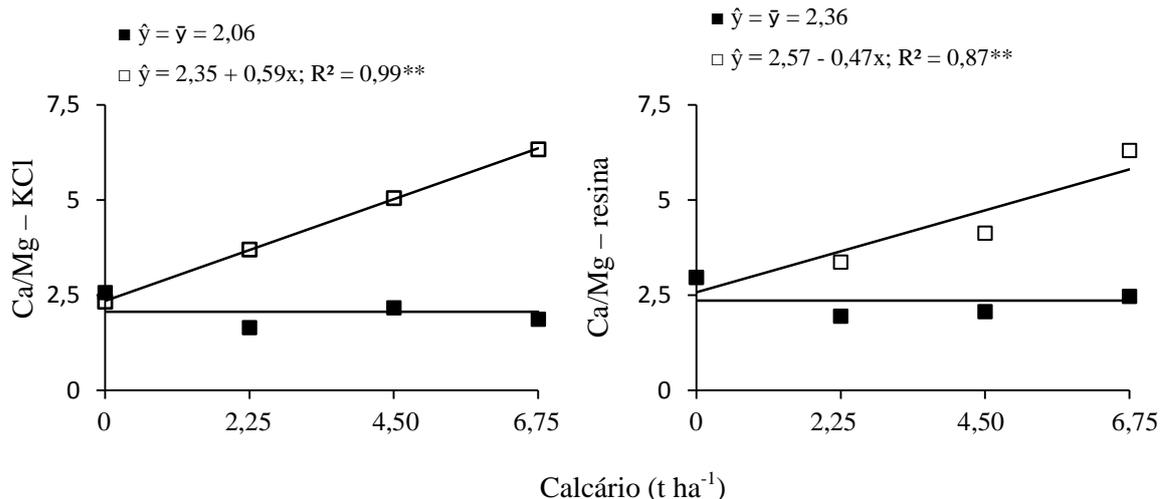


Figura 10. Relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) por extração com KCl e resina, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\* $p < 0,01$ .

Tabela 5. Relação Ca/Mg no solo por extração com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Ca/Mg – KCl	Ca/Mg – resina
Fonte		0-5 cm
Dolomítico	2,06	2,42
Calcítico	4,35	4,51
Valor F	89,30**	689,43**
Faixa de PRNT		
Faixa B	2,86	3,22
Faixa D – “filler”	3,55	3,71
Valor F	8,13**	37,60**
Fonte		5-10 cm
Dolomítico	1,90	2,24
Calcítico	2,55	2,97
Valor F	18,79**	76,42**
Faixa de PRNT		
Faixa B	2,28	2,72
Faixa D – “filler”	2,17	2,48
Valor F	0,5 ns	8,10**
Fonte		10-20 cm
Dolomítico	1,79	2,13
Calcítico	1,90	2,30
Valor F	1,33 ns	3,14 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	1,82	2,18
Faixa D – “filler”	1,87	2,24
Valor F	0,28 ns	0,38 ns
Fonte		20-40 cm
Dolomítico	1,47	1,60
Calcítico	1,49	1,64
Valor F	0,05 ns	0,24 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	1,53	1,64
Faixa D – “filler”	1,42	1,60
Valor F	1,09 ns	0,16 ns
Fonte		40-60 cm
Dolomítico	1,27	1,16
Calcítico	1,27	1,42
Valor F	0,00 ns	5,15*
Faixa de PRNT		
Faixa B	1,27	1,31
Faixa D – “filler”	1,27	1,27
Valor F	0,00 ns	0,10 ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

#### 4.1.1.4 Potássio (K) Trocável e Fósforo (P) Disponível

Os teores de K trocável e de P disponível extraídos com a solução de Mehlich-1 não foram alterados significativamente pelas doses de calcário em todo o perfil estudado (Figura 11). O teor de K trocável extraído com resina foi reduzido linearmente, somente na camada superficial do solo (0-5 cm), enquanto que o teor de P-resina não foi alterado, com as doses de calcário aplicadas na superfície.

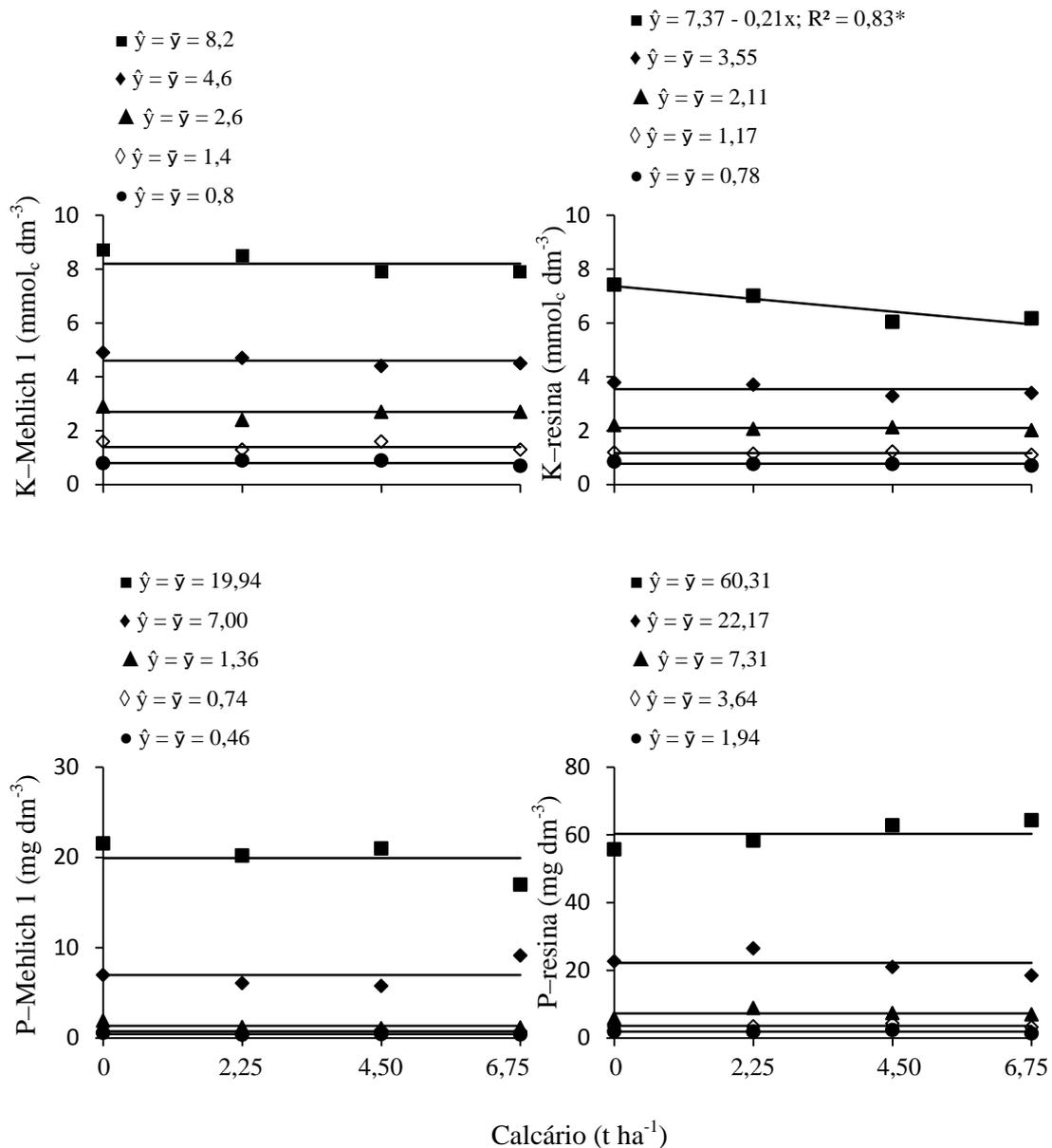


Figura 11. Teores de K trocável e P disponível no solo extraídos com Mehlich-1 e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$ .

A redução de K trocável na camada superficial do solo (0-5 cm), identificada quando o K foi extraído com resina, em função das doses de calcário (Figura 11), pode estar relacionada com a competição entre os cátions trocáveis no complexo coloidal do solo. O Ca e Mg por serem cátions divalentes, possuem força de ligação iônica mais forte do que o K, que é monovalente, tendo preferência na ligação com os colóides do solo. Assim, o  $K^+$  permanece na solução do solo, sendo passível de ser lixiviado ou absorvido pelas raízes das plantas (BARTH, 2005). Como a amostragem do solo foi realizada depois da colheita, é bem possível que a redução no teor de K-resina na camada superficial do solo (0-5 cm), com as doses de calcário, tenha ocorrido por causa de maior absorção de  $K^+$  pelas plantas. Os teores de K trocável no solo foram semelhantes quando a extração foi feita com Mehlich-1 e resina (Figura 11). No caso do P no solo, os teores foram bem mais elevados quando extraídos com resina do que com a solução de Mehlich-1, por causa dos diferentes mecanismos envolvidos nos procedimentos de extração desse nutriente (Figura 11). Destaca-se que esse solo tinha textura muito argilosa e, portanto, alta capacidade de adsorção de P.

Mesmo assim, os teores de K e P no solo, pelos diferentes procedimentos de extração, eram altos. Em solos ácidos, a calagem aumenta a disponibilidade de P adsorvido nos óxidos de Fe e Al, mas o extrator Mehlich-1 não tem detectado esse efeito do calcário (QUAGGIO et al., 1982; CAIRES & DA FONSECA, 2000; CAIRES, 2006a). Nesse caso, a extração com resina também não detectou aumento na disponibilidade de P no solo com as doses de calcário. Para ambos os nutrientes (K e P), houve gradiente de concentração da superfície em direção ao subsolo, o que é de ocorrência comum no sistema plantio direto em função da adubação localizada e da ausência de revolvimento do solo (MUZILLI, 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; MARIA & CASTRO, 1993).

Os teores de K trocável e de P disponível extraídos com a solução de Mehlich-1 e com resina de troca de ânions não foram alterados significativamente, nas diferentes profundidades do solo, pelas fontes de calcário dolomítico e calcítico e pelas faixas B e D de PRNT dos corretivos (Tabela 6). Somente o teor de P-resina, na camada de 5-10 cm, foi maior com o emprego de calcário calcítico do que de dolomítico, sendo que tal efeito pode ter sido decorrente de maior reação do calcário calcítico em relação ao dolomítico nessa profundidade (Tabela 3).

Tabela 6. Teores de K trocável e P disponível extraídos com Mehlich-1 e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	K-Mehlich 1	K-resina	P-Mehlich 1	P-resina
	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----		----- mg dm <sup>-3</sup> -----	
Fonte			0-5 cm	
Dolomítico	7,9	6,8	19,0	58,2
Calcítico	8,6	6,4	20,8	62,4
Valor F	2,0ns	0,7ns	0,5ns	0,5ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	8,0	6,8	18,4	58,6
Faixa D – “filler”	8,4	6,4	21,4	62,0
Valor F	0,6ns	0,9ns	1,5ns	0,3ns
Fonte			5-10 cm	
Dolomítico	4,4	3,4	7,1	18,3
Calcítico	4,8	3,6	6,8	26,0
Valor F	1,1ns	0,4ns	0,0ns	4,4*
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,9	3,8	8,8	21,7
Faixa D – “filler”	4,6	3,3	5,2	22,6
Valor F	3,5ns	2,7ns	3,3ns	0,0ns
Fonte			10-20 cm	
Dolomítico	2,6	2,1	1,4	6,0
Calcítico	2,7	2,1	1,3	8,5
Valor F	0,2ns	0,1ns	0,6ns	2,5ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	2,7	2,1	1,2	6,2
Faixa D – “filler”	2,7	2,0	1,5	8,3
Valor F	0,1ns	0,5ns	3,9ns	1,7ns
Fonte			20-40 cm	
Dolomítico	1,4	1,1	0,8	3,8
Calcítico	1,5	1,1	0,6	3,5
Valor F	0,2ns	0,0ns	2,0ns	0,7ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	1,3	1,2	0,6	3,7
Faixa D – “filler”	1,5	1,1	0,8	3,6
Valor F	0,9ns	1,2ns	0,9ns	0,1ns
Fonte			40-60 cm	
Dolomítico	0,8	0,7	0,4	2,0
Calcítico	0,8	0,8	0,4	1,8
Valor F	0,0ns	0,7ns	0,0ns	0,4ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	0,9	0,8	0,4	1,9
Faixa D – “filler”	0,9	0,7	0,4	1,9
Valor F	0,2ns	0,3ns	0,0ns	0,0ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$ .

#### 4.1.1.5 Carbono (C) orgânico e Enxofre (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) disponível

As doses de calcário aplicadas na superfície não influenciaram significativamente o teor de C-orgânico no perfil do solo (Figura 12). De forma semelhante ao que foi observado para os teores de K e P no solo (Figura 11), também houve maior concentração de C-orgânico na camada superficial do solo e diminuição nos seus teores em maiores profundidades do perfil. Isso ocorre em plantio direto porque a manutenção de resíduos orgânicos vegetais sobre a superfície do solo associada com a ausência de revolvimento aumenta a concentração de C-orgânico total, sobretudo nos primeiros 2,5 cm (RHOTON, 2000; AMARAL et al., 2004a). Resultados semelhantes também foram obtidos por Santos et al. (1995), os quais observaram maiores teores de C-orgânico na camada mais superficial do solo em sistema de plantio direto.

O teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível foi aumentado linearmente na camada superficial do solo (0-5 cm) com o aumento das doses de calcário aplicadas na superfície (Figura 12). Nas demais profundidades estudadas, não ocorreram modificações significativas nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> em função das doses de calcário. Destaca-se que o aumento no pH com as doses de calcário foi muito mais pronunciado na camada superficial do solo (0-5 cm) (Figura 3). Sendo

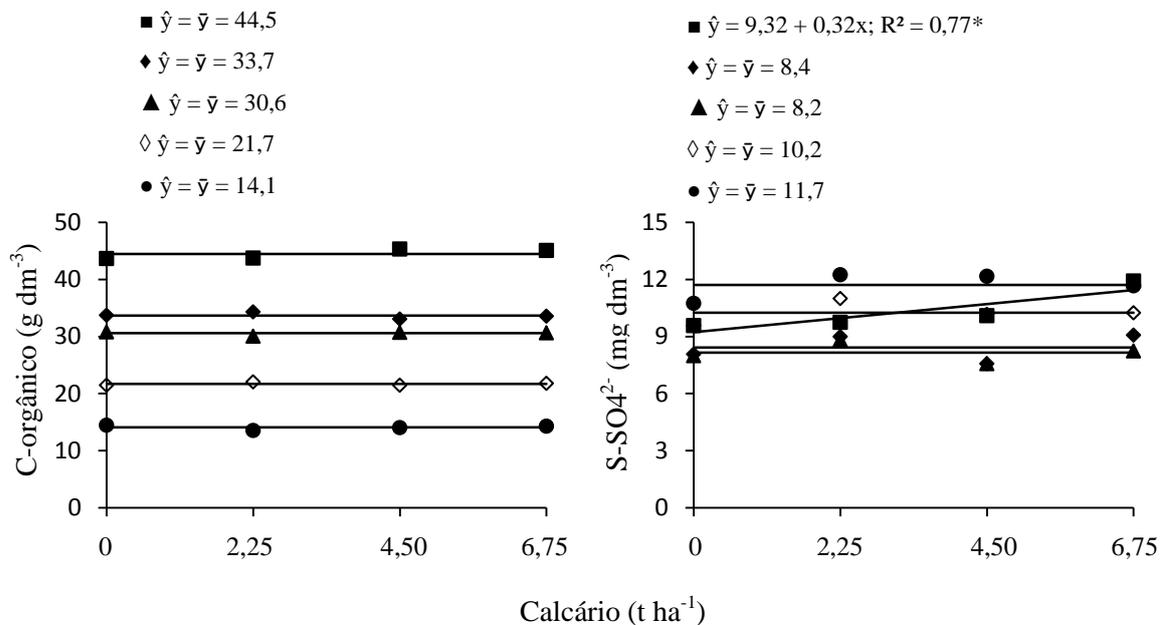


Figura 12. Teores de carbono orgânico e de enxofre (S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) disponível no solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \**p* < 0,05.

assim, o aumento no teor de  $S-SO_4^{2-}$  nessa camada pode ter sido consequência da liberação de sulfato adsorvido em decorrência da elevação no pH com a calagem (CAIRES et al., 1999) e, ou do aumento de taxa de mineralização do S orgânico decorrente do ambiente mais favorável para a atividade microbiana (WILLIAMS citado por ASSMANN, 1995). Esses resultados estão de acordo com os obtidos em outros trabalhos realizados em sistema plantio direto (CAIRES et al., 1998, 2003; CAIRES & DA FONSECA, 2000; BARTH, 2005).

Os teores de C-orgânico e de  $S-SO_4^{2-}$  disponível, nas diferentes profundidades do solo, não foram influenciados significativamente pelas fontes de calcário dolomítico e calcítico e pelas faixas B e D de PRNT dos corretivos (Tabela 7). Isso significa que o aumento na disponibilidade de sulfato na camada superficial do solo a calagem na superfície em plantio direto (Figura 12) ocorreu independentemente da fonte calcítica ou dolomítica e da granulometria mais grosseira (faixa B) ou mais fina (faixa D – “filler”) dos corretivos.

#### **4.1.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso**

##### **4.1.2.1 Acidez Ativa (pH), Saturação por Bases, Acidez Trocável (Al) e Saturação por Al**

As doses de calcário na superfície, após 12 meses da aplicação, aumentaram o pH e a saturação por bases, e reduziram o teor de Al e a saturação por Al, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Figura 13). Os maiores incrementos no pH e na saturação por bases ocorreram na camada superficial do solo (0-5 cm). Os valores de pH e saturação por bases, bem como o teor de Al e a saturação por Al não foram influenciados significativamente pelas doses de calcário nas camadas de solo abaixo de 10 cm.

As fontes e as faixas de PRNT dos corretivos proporcionaram poucas alterações nos atributos químicos do solo relacionados com a acidez (Tabela 8). Somente na camada superficial do solo (0-5 cm) observou-se que o pH foi maior com o emprego de calcário calcítico em relação ao dolomítico, e que a saturação por bases foi mais elevada e a saturação por Al mais baixa com o uso de calcário faixa D – “filler” em comparação com o calcário faixa B.

Tabela 7. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	C-orgânico	S- $SO_4^{2-}$
	g $dm^{-3}$	mg $dm^{-3}$
Fonte		0-5 cm
Dolomítico	44,5	10,6
Calcítico	44,3	10,0
Valor F	0,0ns	1,0ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	44,4	11,0
Faixa D – “filler”	44,4	10,0
Valor F	0,0ns	3,5ns
Fonte		5-10 cm
Dolomítico	33,3	8,4
Calcítico	34,0	8,4
Valor F	0,3ns	0,0ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	34,1	8,9
Faixa D – “filler”	33,2	7,9
Valor F	0,8ns	3,3ns
Fonte		10-20 cm
Dolomítico	30,1	8,2
Calcítico	31,0	8,0
Valor F	1,0ns	0,1ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	30,0	8,4
Faixa D – “filler”	31,1	7,9
Valor F	1,4ns	0,8ns
Fonte		20-40 cm
Dolomítico	21,4	10,4
Calcítico	22,0	10,0
Valor F	1,0ns	0,5ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	21,8	10,4
Faixa D – “filler”	21,6	10,0
Valor F	0,2ns	0,5ns
Fonte		40-60 cm
Dolomítico	13,9	12,1
Calcítico	14,3	11,2
Valor F	0,5ns	1,0ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	13,9	12,0
Faixa D – “filler”	14,3	11,3
Valor F	0,5ns	0,6ns

ns: não-significativo.

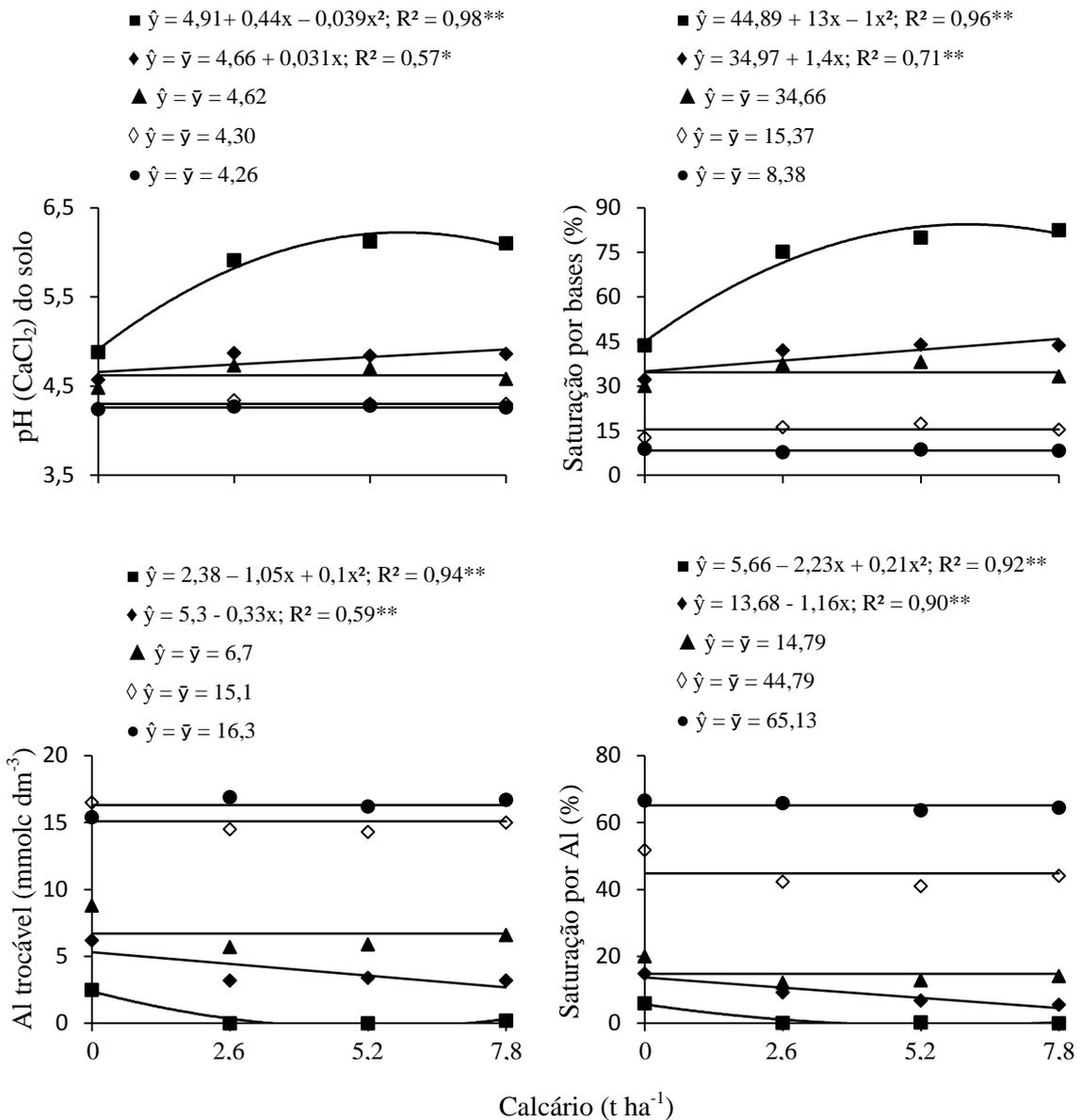


Figura 13. Alterações no pH em CaCl<sub>2</sub>, na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al do solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Nessa camada da superfície houve interação significativa entre doses e fontes de calcário para o pH do solo (Figura 14), mostrando que o calcário calcítico proporcionou aumento mais acentuado no pH do que o calcário dolomítico somente quando as maiores doses dos corretivos foram aplicadas na superfície.

Tabela 8. Alterações no pH em CaCl<sub>2</sub>, na saturação por bases, no teor de Al trocável e na saturação por Al, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Saturação por bases	Al trocável	Saturação por Al
		%	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%
Fonte			0-5 cm	
Dolomítico	5,6	68,9	0,6	1,6
Calcítico	5,9	71,6	0,7	1,6
Valor F	9,4**	2,3ns	0,4ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	5,7	72,5	0,8	2,2
Faixa D – “filler”	5,8	68,0	0,5	0,9
Valor F	0,3ns	6,8*	3,67ns	9,0**
Fonte			5-10 cm	
Dolomítico	4,7	38,7	4,0	8,8
Calcítico	4,8	42,0	4,0	8,9
Valor F	0,9ns	1,7ns	0,0ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,7	41,0	4,0	8,0
Faixa D – “filler”	4,8	39,8	3,9	9,6
Valor F	0,9ns	0,2ns	0,0ns	0,6ns
Fonte			10-20 cm	
Dolomítico	4,6	33,8	7,0	14,8
Calcítico	4,6	35,5	6,5	15,0
Valor F	0,1ns	0,2ns	0,1ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,6	34,0	7,0	15,0
Faixa D – “filler”	4,6	35,2	7,0	14,9
Valor F	0,3ns	0,1ns	0,0ns	0,0ns
Fonte			20-40 cm	
Dolomítico	4,2	15,0	15,3	45,3
Calcítico	4,3	15,6	14,8	44,2
Valor F	0,7ns	0,1ns	0,2ns	0,1ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,3	14,9	15,5	45,5
Faixa D – “filler”	4,3	15,7	14,6	44,0
Valor F	0,1ns	0,3ns	0,6ns	0,1ns
Fonte			40-60 cm	
Dolomítico	4,2	8,3	16,4	65,5
Calcítico	4,2	8,3	16,4	64,7
Valor F	0,0ns	0,0ns	0,0ns	0,1ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	4,2	8,1	16,4	63,2
Faixa D – “filler”	4,2	7,5	16,2	67,0
Valor F	0,4ns	3,1ns	0,0ns	3,0ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

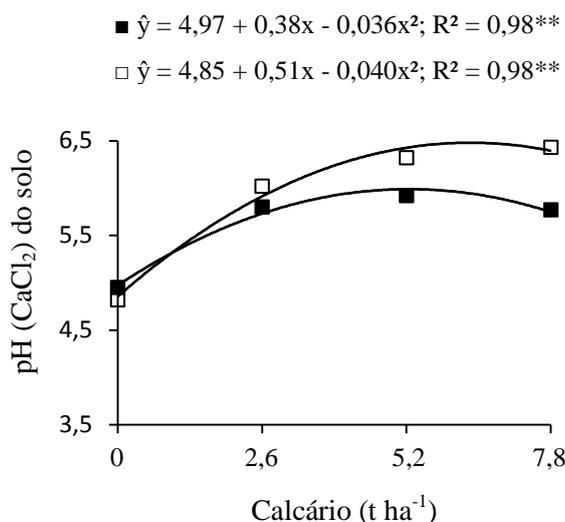


Figura 14. Alterações no em pH em CaCl<sub>2</sub> do solo, na camada de 0-5 cm, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas faixas de PRNT (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .

A correção da acidez por meio da aplicação superficial de calcário dolomítico e calcítico com diferentes faixas de PRNT ficou limitada às camadas superficiais do solo, especialmente na de 0-5 cm, após 12 meses, evidenciando que houve baixa mobilidade do calcário no perfil do solo arenoso sob plantio direto. Assim, a granulometria mais fina dos corretivos não aumentou a eficiência do calcário aplicado superficialmente na correção da acidez de camadas mais profundas. A movimentação do calcário no perfil do solo depende dos fatores tempo e dose e, segundo Rheinheimer et al. (2000a), enquanto existirem cátions ácidos ( $H^+$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  e  $Mn^{2+}$ ), a reação de neutralização da acidez fica limitada à camada superficial do solo, retardando o efeito em subsuperfície. Como o Neossolo, apesar de arenoso, tinha acidez potencial mais elevada do que o Latossolo argiloso por causa de seu teor mais elevado de matéria orgânica (Tabela 1), certamente houve maior dificuldade do calcário aplicado superficialmente alcançar efeito em camadas mais profundas.

#### 4.1.2.2 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) trocáveis

As doses de calcário aumentaram significativamente os teores de Ca e Mg trocáveis somente na camada superficial do solo (0-5 cm), quando a extração foi feita com solução de KCl (Figura 15). Quando o Ca e o Mg foram extraídos com resina, observaram-se aumento

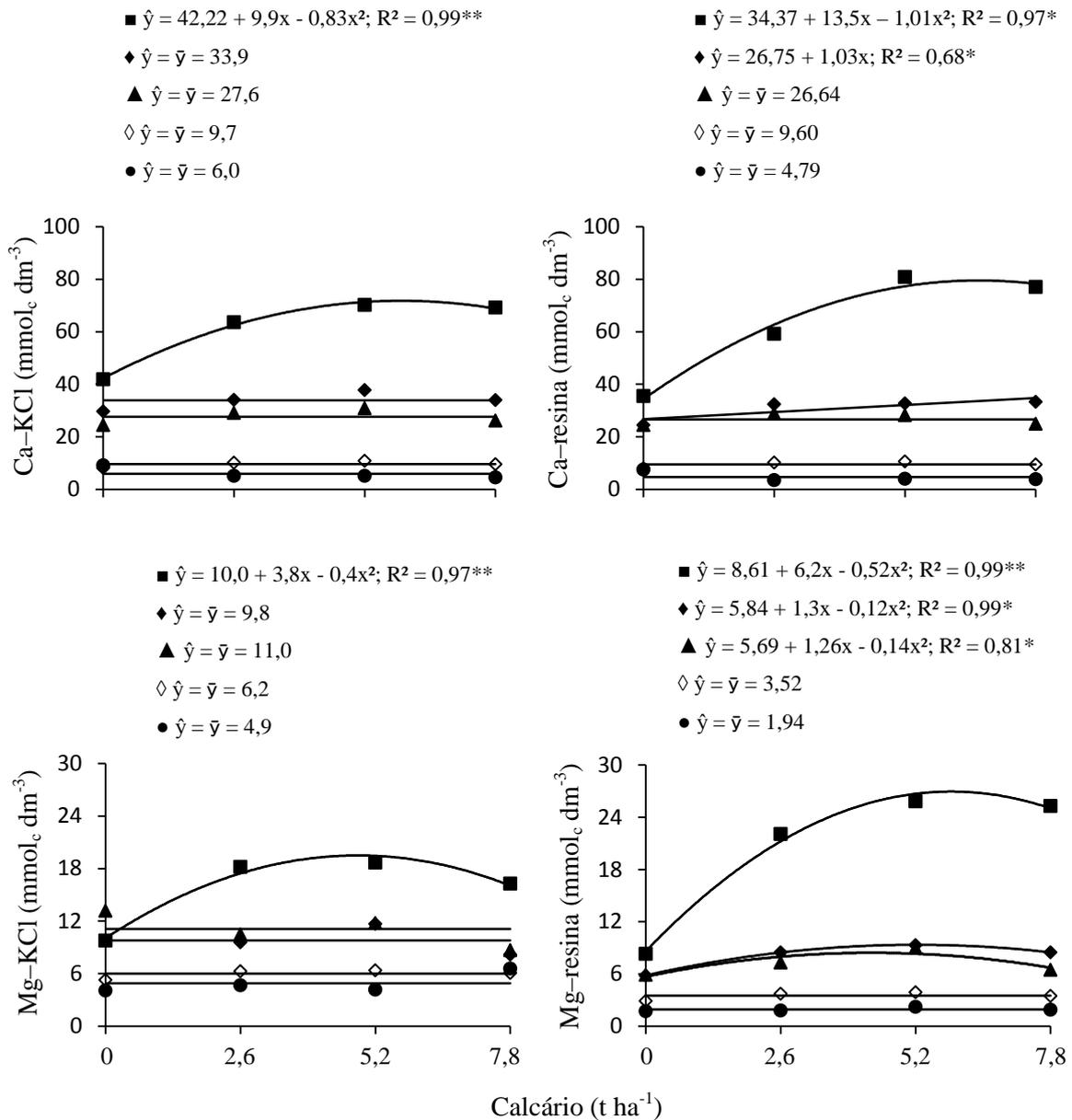


Figura 15. Teores de Ca e Mg trocáveis no solo extraídos com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

significativo no teor de Ca trocável nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, e no teor de Mg trocável nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Mesmo assim, os incrementos nos teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com resina foram muito mais expressivos na camada de 0-5 cm. Esses resultados concordam com os obtidos em outros trabalhos realizados na região sul do Brasil que mostraram aumentos mais pronunciados nos teores de Ca e Mg trocáveis nas camadas superficiais do solo com a aplicação de calcário na superfície em sistema plantio direto

(CAIRES et al., 1998 e 1999; PÖTTKER & BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000a; PETRERE & ANGHINONI, 2001; MOREIRA et al., 2001; CIOTTA et al, 2004).

O calcário calcítico proporcionou maior teor de Ca trocável nas camadas superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm) do que o calcário dolomítico quando a extração foi feita com solução de KCl (Tabela 9). Quando o Ca foi extraído com resina, o calcário calcítico propiciou maior teor de Ca trocável em relação ao dolomítico somente na camada superficial do solo (0-5 cm). Destaca-se que os teores de Ca trocável na camada superficial do solo (0-5 cm), extraídos com KCl e resina, foram influenciados significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 16). O desdobramento da interação mostrou maiores incrementos nos teores de Ca trocável com a aplicação de calcário calcítico, especialmente em doses mais elevadas, para os dois procedimentos de extração (KCl e resina).

O calcário dolomítico, por sua vez, propiciou maior teor de Mg trocável do que o calcário calcítico, somente na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente do procedimento de extração (KCl ou resina) (Tabela 9). Nessa camada, os teores de Mg trocável extraídos com KCl e resina também foram influenciados significativamente pela interação entre doses e fontes de calcário (Figura 17). O desdobramento da interação mostrou que apesar da extração com resina ter detectado certa contribuição do calcário calcítico no aumento dos teores de Mg trocável no solo, os maiores incrementos nos teores de Mg trocável no solo, pelos dois procedimentos de extração (KCl e resina), foram devidos à aplicação de calcário dolomítico. Isso ocorreu porque o calcário dolomítico possui maior concentração de MgO na sua composição em comparação ao calcário calcítico, concordando com os resultados encontrados por Holzschuh (2007) para solos do Rio Grande do Sul.

Os teores de Ca trocável extraídos com KCl ou resina não foram influenciados pelas faixas de PRNT dos corretivos em nenhuma profundidade estudada (Tabela 9). O teor de Mg trocável foi maior na camada superficial do solo (0-5 cm) com a utilização de calcário faixa B, em relação ao calcário faixa D – “filler”, somente quando a extração foi feita com resina. Nas demais profundidades do solo, os teores Mg trocável não foram influenciados pela faixa de PRNT dos calcários. Destaca-se que os teores de Ca e Mg extraídos com resina das amostras da camada superficial do solo (0-5 cm), especialmente quando foi utilizado o calcário faixa B, foram maiores do que aqueles extraídos com KCl (Tabela 9).

Tabela 9. Teores de Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Ca-KCl	Ca-resina	Mg-KCl	Mg-resina
----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				
Fonte	0-5 cm			
Dolomítico	50,8	55,3	21,1	26,6
Calcítico	71,6	70,1	9,9	14,1
Valor F	74,8**	12,6**	54,5**	107,5**
Faixa de PRNT				
Faixa B	59,0	64,6	16,8	23,6
Faixa D – “filler”	63,3	60,8	14,7	17,2
Valor F	3,2ns	0,8ns	1,7ns	28,2**
Fonte	5-10 cm			
Dolomítico	30,1	29,0	10,2	8,2
Calcítico	37,6	32,5	9,3	7,8
Valor F	6,3*	2,1ns	0,9ns	0,2ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	33,6	31,4	10,0	8,3
Faixa D – “filler”	34,2	30,1	9,3	7,7
Valor F	0,0ns	0,4ns	0,1ns	0,8ns
Fonte	10-20 cm			
Dolomítico	26,8	25,6	10,0	7,2
Calcítico	28,4	27,6	9,8	7,1
Valor F	0,4ns	0,8ns	0,1ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	26,7	26,2	10,0	7,0
Faixa D – “filler”	28,5	27,1	9,9	7,3
Valor F	0,5ns	0,1ns	0,0ns	0,1ns
Fonte	20-40 cm			
Dolomítico	9,3	9,4	6,5	3,5
Calcítico	10,0	9,7	5,6	3,5
Valor F	0,6ns	0,1ns	2,3ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	9,1	9,4	6,2	3,4
Faixa D – “filler”	10,3	9,7	5,9	3,5
Valor F	1,84ns	0,1ns	0,3ns	0,0ns
Fonte	40-60 cm			
Dolomítico	5,1	4,0	5,4	1,9
Calcítico	7,0	3,9	4,3	1,9
Valor F	0,8ns	0,2ns	0,7ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	5,1	4,0	5,5	2,0
Faixa D – “filler”	6,9	3,4	4,2	1,9
Valor F	0,6ns	3,1ns	0,7ns	0,3ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

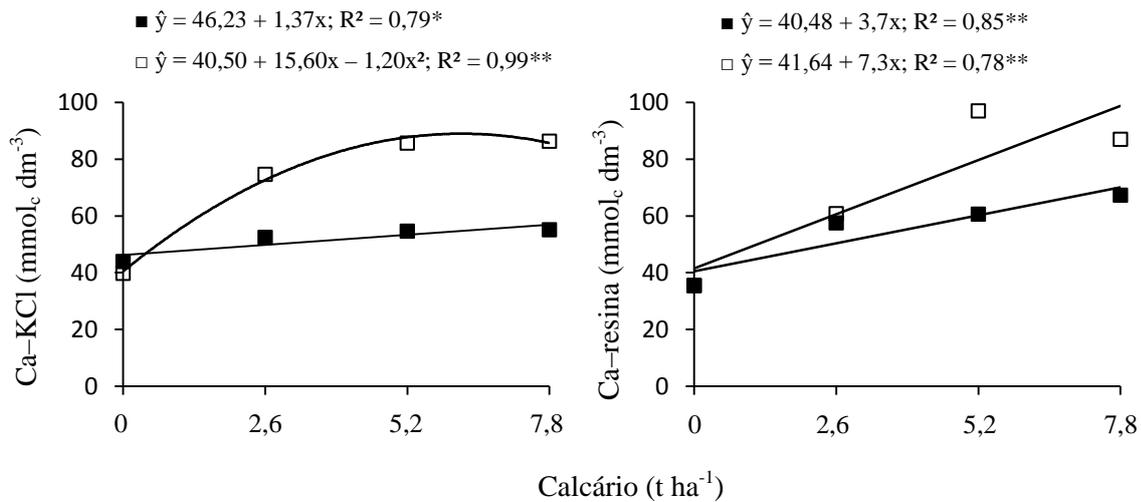


Figura 16. Teores de Ca trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

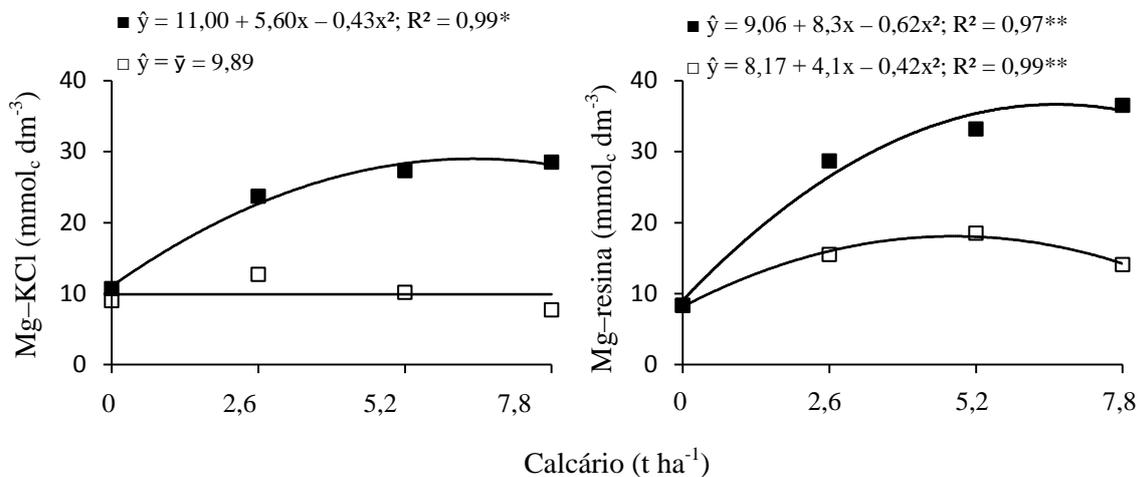


Figura 17. Teores de Mg trocável no solo extraídos com KCl e resina, na camada de 0-5 cm, considerando as doses e as fontes de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (faixa B e D) dos corretivos. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

Na camada superficial do solo (0-5 cm), a resina extraiu, em média, teores de Ca e Mg trocáveis superiores ao KCl, respectivamente em cerca de 10% e 40% quando foi empregado o calcário de granulometria mais grosseira, faixa B. O mesmo efeito não foi evidente com o emprego de calcário de granulometria mais fina, faixa D – “filler”. Esses resultados foram

semelhantes aos encontrados por Soratto & Crusciol (2008) e também àqueles obtidos no solo argiloso da Fazenda Tapejara, reforçando que é preciso cuidado com a interpretação da análise de Ca e Mg trocáveis no solo pelo método da resina quando é feita aplicação superficial de corretivos da acidez com granulometria mais grosseira em plantio direto, por causa da superestimativa dos teores de Ca e Mg trocáveis.

#### 4.1.2.3 Relação Ca/Mg no Solo

Considerando os valores médios das fontes e das faixas de PRNT dos corretivos, houve aumento linear da relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) com as doses de calcário aplicadas, quando a extração foi feita com KCl, e a relação Ca/Mg não foi alterada quando a extração foi feita com resina (Figura 18). Como na camada de 0-5 cm houve interação significativa entre doses e fontes de calcário, o desdobramento da interação revelou que o aumento linear da relação Ca/Mg, tanto para a extração com KCl como para a extração com resina, foi ocasionado pela aplicação de doses de calcário calcítico (Figura 19). As doses de calcário dolomítico, para os dois procedimentos de extração (KCl e resina), ocasionaram redução da relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm).

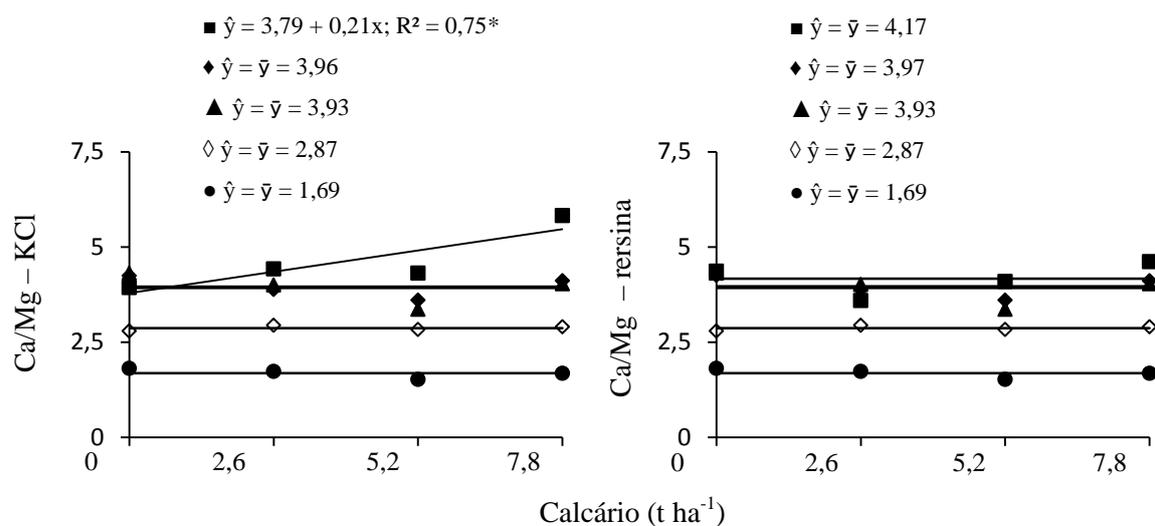


Figura 18. Relação Ca/Mg no solo por extração com KCl e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \* $p < 0,05$  e \*\* $: p < 0,01$

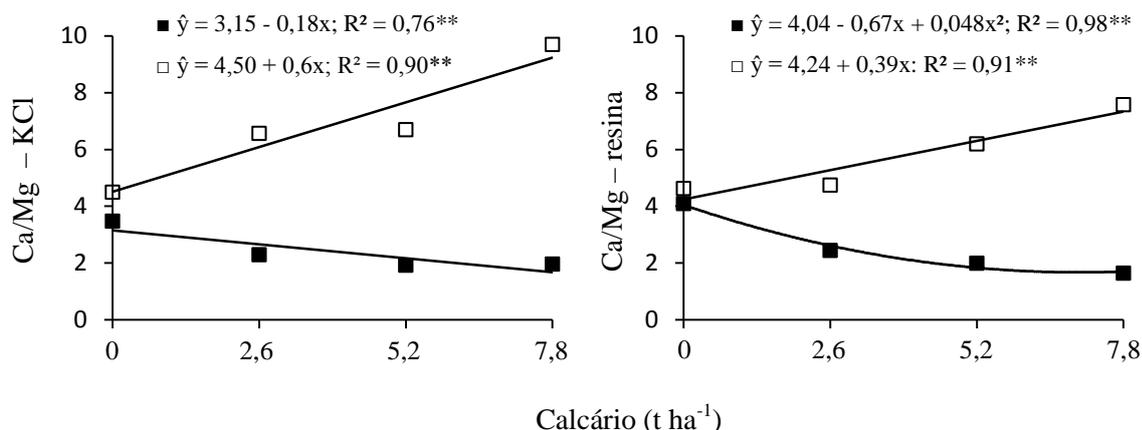


Figura 19. Relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm) por extração com KCl e resina, de acordo com as doses de calcário dolomítico (■) e calcítico (□) aplicadas na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias das faixas de PRNT (B e D) dos calcários. A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011. \*\*:  $p < 0,01$ .

O calcário calcítico e o corretivo faixa D – “filler” proporcionaram maiores valores de relação Ca/Mg na camada superficial do solo (0-5 cm), independentemente dos procedimentos de extração com KCl ou resina (Tabela 10). O calcário calcítico também proporcionou incremento significativo na relação Ca/Mg da camada de 5-10 cm, quando a extração foi feita com resina. Efeitos significativos de pequena magnitude foram encontrados na camada de 20-40 cm, onde a relação Ca/Mg foi maior para o calcário faixa D – “filler” em relação ao calcário faixa B, quando a extração foi feita com KCl, e na camada de 40-60 cm, onde a resina acusou maior relação Ca/Mg com o emprego de calcário faixa B em relação ao calcário faixa D – “filler”.

#### 4.1.2.4 Potássio (K) trocável e Fósforo (P) disponível

As doses de calcário aplicadas na superfície não ocasionaram alterações significativas nos teores de K trocável e P disponível no solo extraídos com solução de Mehlich-1 e resina, em todo o perfil, após 12 meses (Figura 20).

Os teores de K trocável e de P disponível extraídos com a solução de Mehlich-1 e com resina de troca de ânions não foram alterados significativamente, nas diferentes profundidades do solo, pelas fontes de calcário dolomítico e calcítico e pelas faixas B e D de PRNT dos

Tabela 10. Relação Ca/Mg por extração com KCl e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Ca/Mg – KCl	Ca/Mg – resina
Fonte		0-5 cm
Dolomítico	2,42	2,55
Calcítico	6,86	5,79
Valor F	2055,28**	656,60**
Faixa de PRNT		
Faixa B	3,87	3,24
Faixa D – “filler”	5,41	5,10
Valor F	245,80**	215,36**
Fonte		5-10 cm
Dolomítico	3,37	3,63
Calcítico	3,85	4,30
Valor F	4,02 ns	10,50**
Faixa de PRNT		
Faixa B	3,61	3,82
Faixa D – “filler”	3,61	4,12
Valor F	0,00 ns	2,07 ns
Fonte		10-20 cm
Dolomítico	2,87	3,70
Calcítico	2,85	4,17
Valor F	0,00 ns	3,36 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	2,75	3,93
Faixa D – “filler”	2,97	3,94
Valor F	1,66 ns	0,00 ns
Fonte		20-40 cm
Dolomítico	1,72	2,70
Calcítico	1,62	3,05
Valor F	0,60 ns	2,81 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	1,53	2,87
Faixa D – “filler”	1,82	2,87
Valor F	4,62*	0,00 ns
Fonte		40-60 cm
Dolomítico	1,30	1,68
Calcítico	1,23	1,70
Valor F	0,28 ns	0,04 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	1,26	1,85
Faixa D – “filler”	1,27	1,54
Valor F	0,01 ns	6,44 *

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

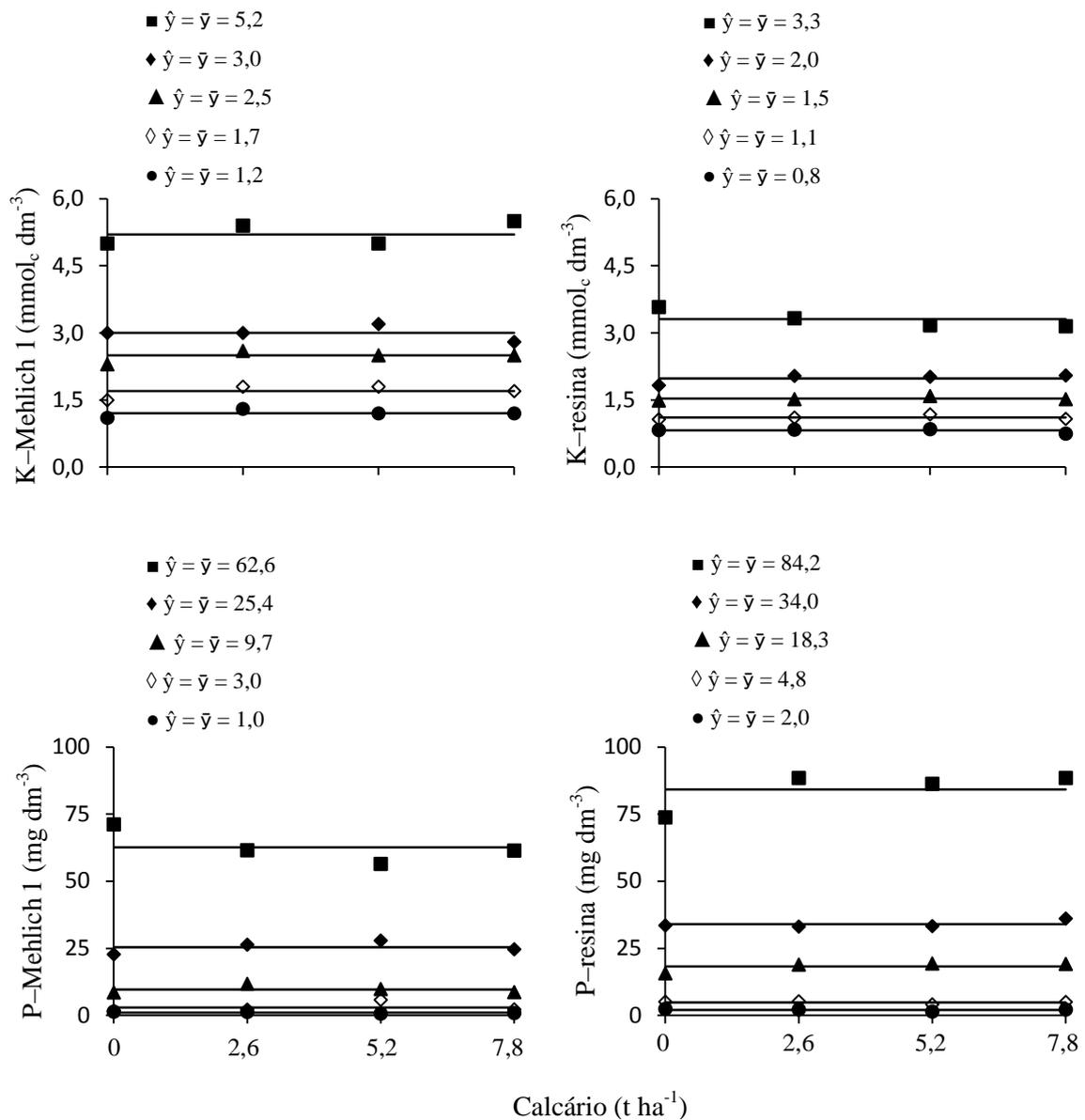


Figura 20. Teores de K trocável e P disponível no solo extraídos com Mehlich-1 e resina, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011.

corretivos (Tabela 11). Esses resultados foram semelhantes aos observados para o solo argiloso da Fazenda Tapejara (Tabela 6). Nota-se a ocorrência de gradiente de concentração de K trocável e P disponível a partir da superfície do solo, com maiores teores na camada superficial, sendo essa uma característica do sistema de plantio direto (MUZILLI, 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; MARIA & CASTRO, 1993).

Tabela 11. Teores de K trocável e P disponível extraídos com Mehlich-1 e resina, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	K-Mehlich 1	K-resina	P-Mehlich 1	P-resina
	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>	
Fonte			0-5 cm	
Dolomítico	5,2	3,4	64,5	79,9
Calcítico	5,3	3,1	62,7	88,4
Valor F	0,2ns	3,4ns	0,0ns	2,1ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	5,2	3,3	61,5	82,2
Faixa D – “filler”	5,3	3,2	65,7	86,2
Valor F	0,3ns	0,5ns	0,2ns	0,4ns
Fonte			5-10 cm	
Dolomítico	2,7	1,9	23,9	34,6
Calcítico	2,7	1,9	26,8	33,3
Valor F	1,0ns	0,0ns	0,2ns	0,2ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	2,9	2,0	26,7	32,7
Faixa D – “filler”	3,0	1,9	24,0	35,2
Valor F	1,0ns	1,5ns	0,1ns	0,6ns
Fonte			10-20 cm	
Dolomítico	2,4	1,5	8,8	16,9
Calcítico	2,5	1,5	10,5	18,1
Valor F	0,2ns	0,4ns	1,3ns	0,4ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	2,4	1,5	10,3	16,8
Faixa D – “filler”	2,4	1,5	9,0	18,2
Valor F	0,0ns	0,0ns	0,8ns	0,7ns
Fonte			20-40 cm	
Dolomítico	1,7	1,1	3,8	4,8
Calcítico	1,7	1,1	2,1	4,8
Valor F	0,0ns	0,0ns	1,3ns	0,0ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	1,6	1,1	2,3	4,5
Faixa D – “filler”	1,8	1,1	3,5	5,1
Valor F	2,6ns	0,0ns	0,6ns	1,7ns
Fonte			40-60 cm	
Dolomítico	1,2	0,8	1,0	2,1
Calcítico	1,2	0,7	1,0	1,9
Valor F	0,3ns	0,9ns	0,0ns	0,6ns
Faixa de PRNT				
Faixa B	1,2	0,8	0,9	2,2
Faixa D – “filler”	1,2	0,8	1,1	1,9
Valor F	0,0ns	0,0ns	0,4ns	1,0ns

ns: não-significativo.

Os teores de K trocável no solo foram um pouco mais elevados quando extraídos com solução de Mehlich-1 em relação à extração com resina, mas se mantiveram em classes de teores semelhantes (Figura 20). No caso do P no solo, os teores foram somente um pouco mais elevados quando extraídos com resina do que com a solução de Mehlich-1, de modo diferente ao que foi observado para o solo argiloso da Fazenda Tapejara. Cabe destacar, nesse caso, que o solo tinha textura muito arenosa e, portanto, baixa capacidade de adsorção de P. De qualquer forma, os teores de K e P no solo, pelos diferentes procedimentos de extração, eram altos. Embora a calagem possa aumentar a disponibilidade de P adsorvido nos óxidos de Fe e Al (QUAGGIO et al., 1982), esse efeito não foi detectado para ambos procedimentos de extração (Mehlich-1 e resina).

#### 4.1.2.5 Carbono orgânico e Enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível

Os teores de C-orgânico e de  $S-SO_4^{2-}$  no perfil do solo não foram influenciados significativamente pelas doses de calcário aplicadas na superfície (Figura 21). Os teores de C-orgânico diminuíram ao longo do perfil do solo certamente por causa do aumento que ocorre na concentração de C-orgânico total, sobretudo na camada superficial do solo (SANTOS et al., 1995; RHOTON, 2000; AMARAL et al., 2004b) em razão da manutenção de resíduos orgânicos vegetais sobre a superfície do solo associada com a ausência de revolvimento. Já, os teores de  $S-SO_4^{2-}$  aumentaram ao longo do perfil do solo. Cabe ressaltar que o sulfato é mais fortemente retido em solos mais ácidos e com menos cargas elétricas negativas (RAIJ & PEECH, 1972). Isso e a repulsão do sulfato por fosfato explicam os teores mais baixos de  $S-SO_4^{2-}$  na superfície do solo.

O teor de  $S-SO_4^{2-}$  disponível não foi alterado na camada superficial do solo (0-5 cm) com o aumento das doses de calcário aplicadas na superfície (Figura 20), como aconteceu no Latossolo argiloso (Figura 12). Essa diferença de comportamento da disponibilidade de sulfato frente à calagem nos dois solos estudados deve estar relacionada à capacidade mais alta de adsorção de  $S-SO_4^{2-}$  no Latossolo argiloso do que no Neossolo arenoso.

As faixas B e D de PRNT dos corretivos não ocasionaram alterações significativas nos teores de C-orgânico e de  $S-SO_4^{2-}$ , nas diferentes profundidades do solo (Tabela 12). As fontes de calcário dolomítico e calcítico não influenciaram significativamente os teores de  $S-SO_4^{2-}$  do solo, mas o teor de C-orgânico foi maior, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, com

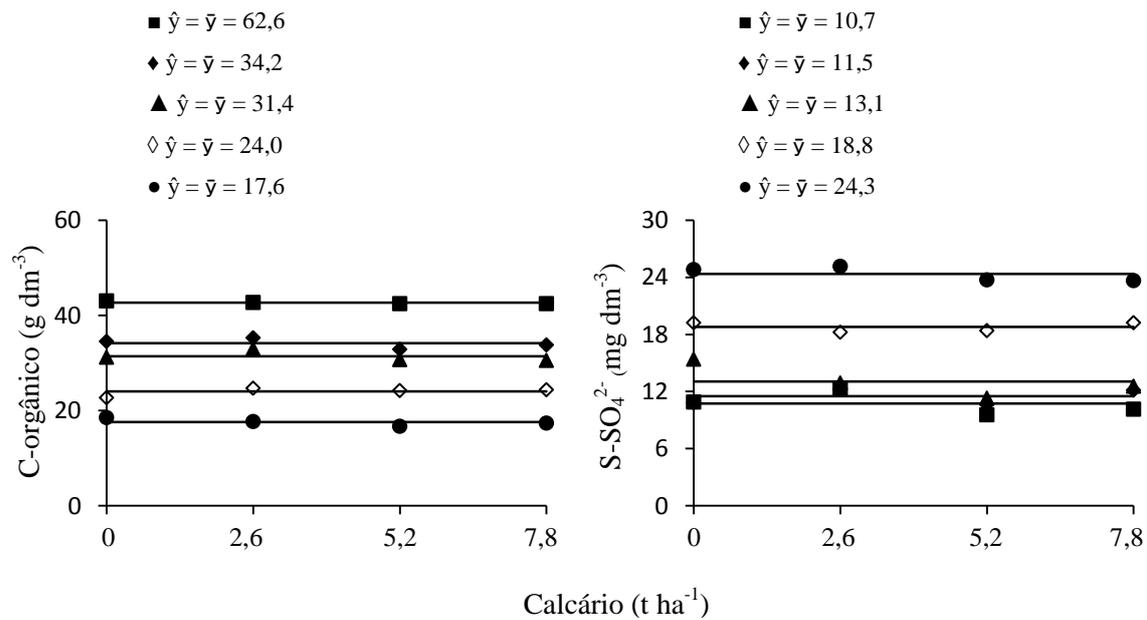


Figura 21. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível no solo, nas profundidades de 0-5 cm (■), 5-10 cm (◆), 10-20 cm (▲), 20-40 cm (◇) e 40-60 cm (●), considerando as doses de calcário na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário (dolomítico e calcítico) e duas faixas de PRNT (faixa B e D). A calagem foi realizada em agosto de 2010 e as amostras de solo foram coletadas em agosto de 2011.

o emprego de calcário calcítico em relação ao dolomítico. Em um estudo recente, Briedis et al. (2012) verificaram que a aplicação de calcário na superfície em plantio direto proporcionou maior estabilidade e proteção do C intra-agregado, provavelmente por causa da presença do Ca agindo como ponte catiônica entre o C-orgânico e a caulinita na fração argila. Como o calcário calcítico disponibilizou maior concentração de Ca trocável nas camadas superficiais do solo (Tabela 9), o aumento nos teores de C-orgânico observado no presente estudo pode estar relacionado com a maior estabilidade e proteção do C dentro de macroagregados. Destaca-se, entretanto, que esse assunto requer mais estudos, tendo em vista tal efeito ocorreu somente no Neossolo arenoso e não no Latossolo argiloso.

## 4.2 Nutrição das Plantas de Soja e Milho

### 4.2.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso

As doses de calcário aplicadas na superfície aumentaram linearmente os teores de Ca e Mg, e conforme o modelo quadrático as concentrações de P e S, nas folhas de soja cultivada em 2011–12 no Latossolo argiloso da Fazenda Tapejara. As concentrações foliares de

Tabela 12. Teores de carbono orgânico e de enxofre ( $S-SO_4^{2-}$ ) disponível, nas diferentes profundidades do solo, de acordo com as fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D de PRNT dos corretivos aplicados na superfície em sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	C-orgânico g dm <sup>-3</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg dm <sup>-3</sup>
Fonte		0-5 cm
Dolomítico	40,8	9,9
Calcítico	44,5	11,6
Valor F	11,9**	3,7ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	42,7	10,6
Faixa D – “filler”	42,7	10,9
Valor F	0,0ns	0,1ns
Fonte		5-10 cm
Dolomítico	32,9	11,6
Calcítico	35,7	11,3
Valor F	4,7*	0,0ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	34,5	11,5
Faixa D – “filler”	33,7	11,4
Valor F	0,5ns	0,0ns
Fonte		10-20 cm
Dolomítico	30,5	12,8
Calcítico	32,7	13,3
Valor F	7,1*	0,1ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	32,0	14,0
Faixa D – “filler”	31,2	12,0
Valor F	0,9ns	2,0ns
Fonte		20-40 cm
Dolomítico	23,5	19,5
Calcítico	24,5	18,0
Valor F	1,3ns	0,8ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	23,9	19,5
Faixa D – “filler”	24,1	18,0
Valor F	0,0ns	0,8ns
Fonte		40-60 cm
Dolomítico	17,3	23,0
Calcítico	17,9	25,6
Valor F	1,0ns	2,4ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	17,7	24,0
Faixa D – “filler”	17,5	24,7
Valor F	0,0ns	0,1ns

ns: não-significativo, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

B foram reduzidas de forma quadrática e as de Mn e Zn foram diminuídas de modo linear com as doses de calcário na superfície. Os teores de N, K, Cu e Fe nas folhas de soja não foram alterados significativamente com as doses de calcário, são apresentados na (Tabela 13).

O teor de Ca nas folhas de soja foi significativamente maior com o uso de calcário calcítico e a concentração de Mg no tecido foliar da soja foi mais elevada com o uso de calcário dolomítico (Tabela 13). Tais efeitos eram esperados considerando os teores de CaO e MgO na composição dos calcários calcítico e dolomítico. As faixas de PRNT dos corretivos não ocasionaram nenhuma alteração nos teores de nutrientes nas folhas de soja (Tabela 13), mostrando que a nutrição da soja não foi influenciada pela granulometria dos corretivos da acidez. Apesar das alterações observadas com a calagem (Tabela 13), os teores de nutrientes

Tabela 13. Concentração de nutrientes nas folhas de soja cultivada em 2011–12 no Latossolo argiloso da Fazenda Tapejara, considerando as doses, as fontes e as faixas de PRNT dos corretivos da acidez aplicados na superfície 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> -----				
Calcário (t ha <sup>-1</sup> )											
0	58,10	3,62	24,82	8,53	2,69	2,30	26,77	11,24	110,35	68,45	29,31
2,25	57,40	3,65	25,12	8,70	2,88	2,48	25,14	10,82	120,87	56,18	27,30
4,50	61,89	4,05	24,45	9,10	2,99	2,95	24,54	11,60	122,87	52,84	25,94
6,75	58,40	3,70	24,05	9,34	2,97	2,51	22,64	13,00	113,94	47,95	24,87
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	58,95	3,72	24,65	8,77	2,96	2,48	25,32	11,91	118,21	56,11	26,90
Calcítico	58,94	3,79	24,57	9,10	2,80	2,62	24,22	11,42	115,78	56,60	26,48
Valor F	0,00ns	0,53ns	0,00ns	4,33**	3,57*	2,50ns	3,02ns	0,29ns	0,24ns	0,04ns	0,59ns
Faixa de PRNT											
Faixa B	59,27	3,79	23,87	8,96	2,92	2,60	24,45	12,40	119,45	56,26	26,91
Faixa D -“filler”	58,62	3,72	25,35	8,92	2,84	2,50	25,09	10,92	114,54	56,45	26,46
Valor F	0,18ns	0,53ns	2,24ns	0,07ns	0,84ns	1,08ns	1,05ns	2,71ns	1,00ns	0,00ns	0,69ns

ns: não significativo; L e Q: efeito linear e quadrático por análise de regressão; \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$

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 (Tabela 13) deve ter sido ocasionado pela maior liberação de fosfato e de sulfato adsorvidos no solo com o aumento no pH decorrente da calagem. Deve-se considerar ainda que a correção da acidez na camada superficial do solo com a calagem pode ter favorecido a mineralização da matéria orgânica (WISNIEWSKI & HOLTZ, 1997) e aumentado os teores de fosfato e de sulfato disponíveis no solo.

O decréscimo nos teores de B, Mn e Zn nas folhas de soja com as doses de calcário (Tabela 13) deve estar relacionado com a diminuição na disponibilidade desses micronutrientes no solo em decorrência do aumento no pH proporcionado pela calagem. Mascarenhas et al. (1988) observou deficiência de B em uma várzea onde houve excessiva aplicação de calcário. No presente estudo, o teor de B nas folhas de soja foi reduzido com as doses de calcário, mas as concentrações se mantiveram em níveis suficientes para a cultura da soja (MALAVOLTA et al. 1997). Menor absorção de Zn (MACHADO & PAVAN, 1987) e de Mn (TANAKA et al., 1992; CAIRES & DA FONSECA, 2000) pela soja em função da calagem também foi observada em outros estudos e atribuída à diminuição de suas formas biodisponíveis na solução do solo com o aumento do pH pela calagem.

#### 4.2.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso

Os teores de nutrientes no tecido foliar do milho cultivado em 2011–12 no Neossolo arenoso da Fazenda Água Nova, em função dos tratamentos com calcário, são mostrados na (Tabela 14). Os teores de N, P, K, S, B, Cu e Fe no tecido foliar do milho não foram alterados significativamente com as doses de calcário, concordando com os resultados obtidos por (CENTURION, 1988) e CAIRES et al. (1999). As doses de calcário aplicadas superfície aumentaram linearmente os teores de Ca e Mg, e reduziram também de forma linear as concentrações de Mn e Zn nas folhas do milho. 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 calcário dolomítico e calcítico e com as diferentes faixas de PRNT dos corretivos.

Tabela 14. Concentração de nutrientes nas folhas de milho cultivado em 2011–12 no Neossolo arenoso da Fazenda Água Nova, considerando as doses, as fontes e as faixas de PRNT dos corretivos da acidez aplicados na superfície 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> -----					
Calcário (t ha <sup>-1</sup> )											
0	32,25	2,90	23,13	5,36	3,17	1,91	6,50	8,85	206,11	53,69	28,27
2,6	31,64	3,06	23,53	5,86	3,43	1,75	5,79	8,49	213,32	42,24	23,40
5,8	30,46	2,96	22,18	6,30	3,71	1,75	5,60	8,73	187,84	38,27	20,70
7,8	31,89	3,25	22,24	6,71	3,69	1,95	5,68	8,85	212,60	33,41	18,65
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	31,13	3,00	22,45	6,17	3,63	1,85	5,50	8,68	203,65	40,62	23,66
Calcítico	31,98	3,11	22,09	6,17	3,36	1,83	6,27	8,72	206,65	43,20	21,85
Valor F	0,31ns	0,98ns	2,32ns	1,98ns	1,99ns	0,03ns	2,56ns	0,08ns	0,49ns	0,84ns	1,44ns
Faixa de PRNT											
Faixa B	31,73	3,07	22,90	6,03	3,48	1,88	5,95	8,78	199,45	40,92	23,15
Faixa D – “filler”	31,78	3,05	22,63	6,09	3,51	1,80	5,82	8,68	210,82	42,89	22,37
Valor F	0,09ns	0,05ns	0,21ns	0,12ns	0,02ns	0,78ns	0,72ns	0,21ns	0,70ns	0,49ns	0,26ns

ns: não significativo; L: efeito linear e quadrático por análise de regressão; \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$

Aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas de milho com a aplicação superficial de calcário dolomítico em sistema plantio direto também foi observado por (CAIRES et al., 2002). A calagem na superfície em plantio direto, ao aumentar os teores de Ca e Mg trocáveis 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). No presente estudo, embora os teores de K nas folhas de milho tenham sido mais baixos com o aumento nos teores foliares de Ca e Mg decorrentes das doses de calcário aplicadas, a nutrição de K pelo milho não chegou a ser afetada pela calagem, inclusive com o uso de fontes de calcário com concentrações variadas de MgO.

A redução teores de Mn e Zn nas folhas de milho com as doses de calcário (Tabela 14) deve ter sido consequência da diminuição na disponibilidade desses micronutrientes no solo

em decorrência do aumento no pH proporcionado pela calagem. Além disso, a correção da acidez do solo por meio da calagem provoca maior atividade microbiana que complexa o Mn, tornando-o menos disponível (TANAKA et al., 1993). O aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo também pode ter contribuído para a redução dos teores foliares de Mn e Zn, conforme observado por (RITCHEY et al., 1982).

### 4.3 Produtividade de Grãos de Milho e Soja

#### 4.3.1 Fazenda Tapejara – Solo Argiloso

As produtividades de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12, cultivados no Latossolo argiloso da Fazenda Tapejara, foram aumentadas de acordo com as doses de calcário aplicadas na superfície, conforme o modelo linear para o milho e quadrático para a soja (Figura 22). De acordo com as equações de regressão ajustadas, as maiores produtividades de milho e soja seriam obtidas, respectivamente, com as doses calculadas para elevar a saturação por bases do solo a 90% e 70%, respectivamente, resultando em aumento da ordem de 8% nos rendimentos de grãos de milho e soja.

As fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas B e D dos corretivos não ocasionaram alterações significativas nas produtividades de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12 (Tabela 15).

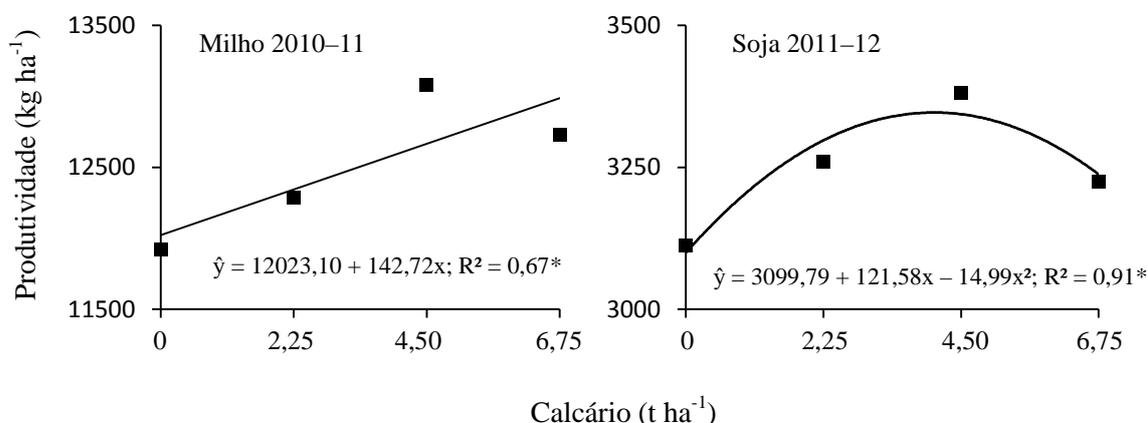


Figura 22. Produtividade de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12, da Fazenda Tapejara, considerando as doses de calcário na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário e duas faixas de PRNT. A calagem foi realizada em agosto de 2010. \* $p < 0,05$ .

Tabela 15. Produtividade de grãos de milho, em 2010–11, e de soja, em 2011–12, da Fazenda Tapejara, considerando as fontes de calcário e as faixas de PRNT dos corretivos aplicados na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Produtividade de Milho	Produtividade de Soja
	2010–11	2011–12
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Fonte		
Calcário dolomítico	12550	3228
Calcário calcítico	12460	3304
Valor F	0,09 ns	1,09 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	12560	3266
Faixa D - “filler”	12450	3266
Valor F	0,13ns	0,00 ns

ns: não-significativo. A calagem foi realizada em agosto de 2010.

Apesar de as respostas positivas das doses de calcário na produtividade de grãos de milho e soja (Figura 22), o rendimento de grãos das culturas foi bastante satisfatório na ausência de calagem. Esses resultados estão de acordo com outros trabalhos que mostraram elevados rendimentos de grãos de milho (PÖTTKER & BEN, 1998; SÁ, 1999; CAIRES et al., 2002, 2003, 2004, 2006) e soja (PÖTTKER & BEN, 1998; SÁ, 1999; RHEINHEIMER et al., 2000) em solos ácidos sob plantio direto. Isso acontece porque o Al pode formar complexos com ligantes orgânicos provenientes de resíduos vegetais (MIYAZAWA et al., 1993) ou com ácidos fúlvicos da matéria orgânica estável, ocorrendo redução de sua atividade na solução do solo (BLOOM et al., 1979). Mesmo tendo-se obtido altos rendimentos de grãos das culturas na ausência calagem, a aplicação superficial de calcário, independentemente da fonte (dolomítico ou calcítico) e da faixa de PRNT (B ou D), foi de primordial importância para maximizar o rendimento de grãos das culturas de milho e soja no Latossolo argiloso sob plantio direto, concordando com os resultados obtidos por Caires et al. (2004).

#### 4.3.2 Fazenda Água Nova – Solo Arenoso

##### 4.3.3 Produtividades de Grãos de Soja e Milho

A produtividade de grãos de soja, em 2010–11, cultivada no Neossolo arenoso da Fazenda Água Nova, não foi influenciada significativamente pelas doses de calcário, tendo-se

obtido rendimento médio de  $3086 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos (Figura 23). A falta de resposta da soja à calagem superficial em plantio direto tem sido atribuída à baixa toxicidade por Al (BROWN et al., 2008) e à presença de concentrações suficientes de cátions trocáveis mesmo em condições de alta acidez do solo (CAIRES et al., 1999). Ausência de resposta da soja à aplicação superficial de calcário também foi observada em outros trabalhos realizados em solos ácidos sob plantio direto na região Sul do Brasil (PÖTTKER & BEN, 1998; CAIRES et al., 1999, 2002, 2006a; RHEINHEIMER et al., 2000, ALLEONI et al., 2003). Destaca-se que o solo da Fazenda Água Nova, apesar de arenoso, tinha teor de matéria orgânica e CTC a pH 7,0 maior do que o solo argiloso da Fazenda Tapejara (Tabela 1).

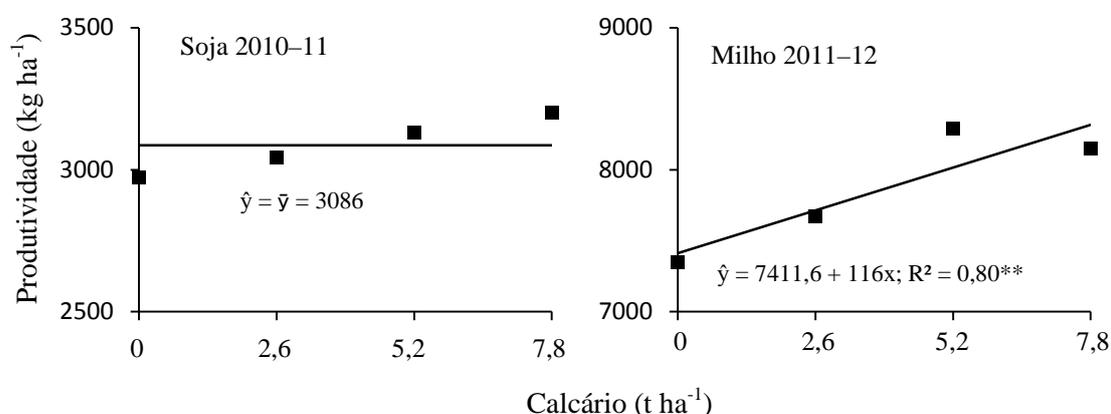


Figura 23. Produtividade de grãos de soja, em 2010–11, e de milho, em 2011–12, da Fazenda Água Nova, considerando as doses de calcário na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de duas fontes de calcário e duas faixas de PRNT. A calagem foi realizada em agosto de 2010.  $*p < 0,05$ .

As doses de calcário aumentaram linearmente a produtividade de grãos de milho, em 2011–12, da Fazenda Água Nova, sendo o aumento ocorrido no rendimento de grãos de milho da ordem de 14% com a maior dose de calcário aplicada (Figura 23). Respostas positivas da calagem no rendimento de grãos do milho também foram obtidos em outros trabalhos realizados em solos ácidos sob plantio direto (PÖTTKER & BEN, 1998; CAIRES et al., 1999, 2002, 2004; RHEINHEIMER et al., 2000, ALLEONI et al., 2003).

As fontes de calcário dolomítico e calcítico e as faixas de PRNT dos corretivos não ocasionaram alterações significativas nas produtividades de grãos de soja, em 2010–11, e de milho, em 2011–12 (Tabela 16). Os resultados mostraram que as doses de calcário foram mais importantes do que a fonte (dolomítico ou calcítico) e a faixa de PRNT (B e D) dos corretivos

para maximizar a produtividade de grãos, especialmente da cultura do milho, no Neossolo arenoso sob plantio direto.

Tabela 16. Produtividade de grãos de soja, em 2010–11, e de milho, em 2011–12, da Fazenda Água Nova, considerando as fontes de calcário e as faixas de PRNT dos corretivos aplicados na superfície no sistema plantio direto. Os valores são médias de quatro doses de calcário e duas fontes ou duas faixas de PRNT.

Tratamento	Produtividade de Soja	Produtividade de Milho
	2010–11	2011–12
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Fonte		
Calcário dolomítico	3078	7790
Calcário calcítico	3095	7938
Valor F	0,02 ns	0,82 ns
Faixa de PRNT		
Faixa B	3062,0	7776,7
Faixa D - “filler”	3110,5	7951,5
Valor F	0,02 ns	1,15 ns

ns: não-significativo. A calagem foi realizada em agosto de 2010.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação superficial de calcário em Latossolo argiloso e Neossolo arenoso sob plantio direto, após 12 meses, promoveu aumento no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis, bem como redução no teor de Al trocável e na saturação por Al principalmente na camada de 0-5 cm e, em menor grau, na de 5-10 cm, independentemente do uso do calcário calcítico e dolomítico e das faixas (B e D) de PRNT dos corretivos.

O calcário calcítico apresentou maior reação do que o calcário dolomítico nas camadas superficiais do Latossolo argiloso e do Neossolo arenoso. Houve aumento na saturação por bases e redução da saturação por Al no subsolo (40-60 cm) com a aplicação de calcário calcítico em doses mais elevadas, mas tal efeito somente foi observado no Latossolo argiloso.

A extração com a resina de troca catiônica superestimou os teores de Ca e Mg trocáveis em relação à solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> quando houve aplicação superficial de calcário, especialmente com granulometria mais grossa, tanto no Latossolo argiloso como no Neossolo arenoso.

A calagem superficial aumentou as concentrações de Ca nas folhas, principalmente com a utilização de calcário calcítico, e de Mg nas folhas, especialmente com o uso de calcário dolomítico, e reduziu o teor de Mn e Zn nas folhas, independentemente da fonte de calcário, nas culturas de milho e soja.

As produtividades de milho e soja, no Latossolo argiloso, e de milho, no Neossolo arenoso foram aumentadas com as doses de calcário, mas não foram influenciadas pelas fontes e faixas de PRNT dos corretivos.

A calagem superficial em solos sob plantio direto se mostrou de fundamental importância para maximizar a produtividade de grãos das culturas, independentemente se realizada com calcário calcítico ou dolomítico e com corretivos faixa B ou D de PRNT.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; HENDERSON, J. B. Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.26, p.65-68, 1962.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; FONTANA, E. C.; COSTA, F. S.; RECH, T. D. Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.1065-1073, 2002.

ALCARDE, J. C. *Produtos utilizados para a correção da acidez dos solos*. Informações Agronômicas. Nº 34, junho, p.5-9. Instituto Brasileiro da Potassa e Fosfato – POTAFÓS. Piracicaba, SP. 1986.

ALCARDE, J. C.; PAULINO, V. T.; DENARDIN, J. S. Avaliação da reatividade de corretivos da acidez do solo. *Bragantia*, v.13, p.387-392, 1989.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A.A. *Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos*. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V.H. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.291-334.

AL-ABBAS, H.; BARBER, S. A. Effects of root growth and mass-flow on the availability of soil calcium and magnesium to soybeans in a greenhouse experiment. *Soil Science*, v.97, p.103-107, 1964.

ALLEONI, L. R. F.; ZAMBROSI, F. C. B.; MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Liming and electrochemical attributes of an Oxisol under no tillage. *Scientia Agrícola*, v.60, p.119-123, 2003.

ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J. Acidity and aluminum speciation as affected by surface liming in tropical no-till soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.74, p.1010-1017, 2010.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.115-123, 2004a.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R.; BERTOL, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.359-367, 2004b.

ANDREOTTI, M.; SOUZA, E. C. A.; CRUSCIOL, C. A.; RODRIGUES, J. D.; BÜLL, L. T. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes pelo milho em razão da saturação por bases e da adubação potássica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.2437-3446, 2000.

ARANTES, E. M. *Efeito da relação Ca/Mg do corretivo e níveis de potássio na produção de material seca, concentração de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico no milho (Zea mays L.)* – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1983. 62p. (Dissertação de Mestrado)

ASSMAN, T. S. *Influência da aplicação do calcário Irati (São Mateus do Sul - PR) nos teores de S, Cu, Fe, Mn e Zn no solo e na planta de milho (Zea mays L.)* – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1995. 110p. (Dissertação de Mestrado)

BARBER, S.A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. *Soil Science*, v.93, p.39-49, 1962.

BARBER, S. A. *Lime material and practices*. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. (Eds.) *Soil acidity and liming*. Madison: ASA, Cap.3 p.125-160; 1967.

BARBER, S. A. *Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. New York: Wiley-Interscience, 1995. 414 p.

BARTH, G. *Alterações provocadas pela calagem superficial em sistema plantio direto nos atributos químicos do solo, no sistema radicular, na produção de grãos e na nutrição e qualidade da soja*. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2005. 82p. (Dissertação de Mestrado)

BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C.; SOUZA, E. C. A. Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliadas em laboratório. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.46, p 303 317, 1989.

BLOOM, P. R.; McBRIDE, M. B.; WEAVER, R. M. Aluminum organic - matter in acid Soils - buffering and solution aluminum activity. *Soil Science Society of America Journal*, v.43, p.488-493, 1979.

BRADY, N.C.; *Natureza e Propriedades dos Solos*, 7.ed. New York: John Wiley, 1989. 898p.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. de M.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. de F.; INAGAKI, T. M.; BOER, A.; FERREIRA, A. de O.; QUADROS NETO, C.; CANALLI, L. B.; SANDOS, J. B. Changes in organic matter pools and increases in carbon sequestration in response to surface liming in an Oxisol under long-term no-till. *Soil Science Society of America Journal*, v.76, p.151-160, 2012.

BROWN, T. T. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminium chemistry on direct seeded cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, v.72, p. 634-640, 2008.

BÜLL, L. T. *Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1986. 107p. (Tese de Doutorado)

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 sistema de cultivo sem preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A. & MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.315- 327, 1999.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; DA FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.1011-1022, 2002.

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. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. G.; PADILHA, J. M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. *Agronomy Journal*, v.97, p.791-798, 2005.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.87-98, 2006a.

CAIRES, E. F.; CORRÊA, J. C. L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. *Scientia Agricola*, v.63, p.502-509, 2006b.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; BARTH, G.; CORRÊA, J. C. L. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, v.28, p.57-64, 2008.

CALEGARI, A.; MONDARDO, M.; BULISANI, E. A.; WILDNER, L. DO P.; COSTA, M. B. B. DA; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. *Adubação verde no sul do Brasil*. Rio de Janeiro, Assessoria e Serviços à Projetos em Agricultura Alternativa, 1993. 346p.

CANTARELLA, H. *Calagem e adubação do milho*. In: BULL, L. T.; CANTARELLA, H. (Eds). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993.

CARMELLO, Q. A. C.; *Saturação por bases e relações entre K, Ca e Mg do solo na nutrição potássica do milho (Zea mays L.) cv. Piranão*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1989. 103p. (Tese de Doutorado)

CARVALHO-PUPPATO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz com a aplicação de escórias. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.1213-1218, 2004.

CENTURION, J. F. *Efeito de sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas de um solo argiloso sob cerrado e na cultura do milho implantada*. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1988. 125p. (Tese de Doutorado)

CHAVES, J. C. D.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Adição de matéria seca e nutrientes através da utilização de plantas para cobertura em culturas perenes e seus efeitos sobre a reação do solo. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v.40, p.47-44, 1997.

CHRIST, M. J.; DAVID, M. B. Dynamics of extrable organic carbon in Spodosol forest floors. *Soil Biology & Biochemistry*, v.28, p.1171-1179, 1996.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p 317-326, 2004.

CONYERS, M. K.; HEENAN, D. P.; MCGHIE, W. J.; POILE, G. P. Amelioration of acidity with time by limestone under contrasting tillage. *Soil & Tillage Research*, v.72, p.85-94, 2003.

DAVIS, L. F. Effect of fineness of agricultural lime upon crop response. *Agronomy Journal*, v.43, p.251-255. 1951.

DECHEN, A. R. Deficiência de cálcio e magnésio nos solos e nas plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.87-95.

DELHAIZE, E., RYAN, P. R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*, v.107, p.315-321, 1995.

DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2653-2659, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo*. Rio de Janeiro: Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Paraná, 1984. 413p. (Boletim Técnico, 57)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análises de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 83p

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.1419-1424, 2001.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. *Química del suelos con enfases en suelos de América Latina*. San José: IICA, 1994. 420p.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/?i1=34eAcoBnLhRWY05WYsBXYIJXYa12&i2=4b8QYIJXYfde&i3=e46ARQBSZkBSYIJXwece&i4=&i5=34eAcoBnLhRWY05WYsBXYIJXYa12&m=1>>. acesso em 17/04/2011.

FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2385-2396, 2008.

FOY, C. D.; BARBER, S. A. Magnesium and corn yield in two acid Indiana soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.22, p.145-148, 1958.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P. *Soil magnesium level, corn (Zea mays L.) yield, and magnesium uptake. Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.15, p.109-123, 1984.

FOX, R. L.; HUE, N. V.; PARRA, A. J. A turbidimetric method for determining phosphate-extractable sulfates in tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.18, p.343-357, 1987.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Influência de resíduos vegetais na toxidez de Al e na mobilidade de íons no solo. *In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS*, 26., Fertbio, 2004. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 6p. (CD-ROM).

FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *Projeto Especial de Levantamento de Solos*. Londrina: Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná, 1984. 413p. (Boletim Técnico, 16).

FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR; Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?Conteudo=863>>, acesso em: 17/04/2011.

FUNDAÇÃO ABC. Disponível em: < <http://sma.fundacaoabc.org.br/>, Acesso em 10/10/2012.

GALLO, J. R.; CATANI, R. A. Solubilidade de alguns tipos de calcários. *Bragantia*, v.13, p.63-74. 1954.

GARGANTINI, H. Efeitos da granulometria, formas e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. *Bragantia*, v.33, p.87-96, 1974.

GASCHO, G. J.; PARKER, M. B. Long-term liming effects on Coastal Plain soils and crops. *Agronomy Journal*, v.93, p.1305-1315, 2001.

GOMES, F. T. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio: magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1779-1786, 2002.

GONZALEZ-ERICO E.; KAMPRATH, E. J.; NADERMAN, G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, v.43, p.1155-1158, 1979.

HABY, V. A.; ANDERSON, W. B.; WELCH, C. D. Effect of limestone variables on amendment of acid soils and production of corn and coastal bermudagrass. *Soil Science Society of America Journal*, v.43, p.343-347, 1978.

HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.59, p.47-63, 2001.

HORTENSTINE, C. C.; OZAKI, H. Y. The effect of liming on the availability of the Fe and Mn on soil Ca and pH on a Davi Fine sand soil. *Crop Science*, v.21, p.44-50, 1961.

HOLZSCHUH, M. J. *Eficiência de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez de solos sob plantio direto*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 85p. (Dissertação de Mestrado)

HUNTER, A. S. Yield and composition of alfafa as affected by various calcium magnesium ratios in the soil. *Soil Science*, v.67, p.53-62. 1949.

INSTITUTO NACIONAL de METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>, Acesso em: 05/10/2012.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma*, v.134, p.24-33, 2006.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. & SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.573-580, 2005.

KEY, J. L.; KURTZ, L. T.; TUCKER, B. B. Influence of ratio of exchangeable calcium magnesium on yield and composition of soybeans and corn. *Soil Science*, v.91, p.265-271, 1961.

LIEBHARDT, W. C. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware's coastal plain soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, p.544-549, 1981.

LIEROP, W. van; MARTEL, Y. A.; CESCAS, M. P. Onion response to lime on acid Histisols as affected by Ca/Mg ratios. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.43, p.1172-1177, 1979.

LIMA, E. V. *Plantas de cobertura e calagem superficial na fase de implantação do sistema de plantio direto em região de inverno seco*. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2004. 125p. (Tese de Doutorado)

LINDSAY, W. L. *Chemical Equilibria in Soils*. New York: John Wiley & Sons, 1979.

LOUÉ, A. Contribuição para o estudo da nutrição catiônica do milho, principalmente a do potássio. *Fertilité*, v.20, p.1-57, 1963.

LUND, Z. F. The effect of calcium and its relation to several cations in soybean root growth. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.34, p.456-459, 1970.

MACHADO, P. L. O.; PAVAN, M. A. A adsorção de zinco por alguns solos do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.11, p.253-256, 1987.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. *Manual de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANUAL DE MÉTODOS ANALÍTICOS OFICIAIS PARA FERTILIZANTES MINERAIS, ORGÂNICOS, ORGANOMINERAIS E CORRETIVOS. Brasília, 2007. 141p.

MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um Latossolo Roxo sob sistemas de manejo com milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, p.471-477, 1993.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C.; BATAGLIA, O. C.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; TANAKA, R. T. Deficiência de boro em soja. *Bragantia*, v.47, p.325-331, 1988.

MCLEAN, E. O.; CARBONELL, M. D. Calcium, magnesium, potassium saturation ratio and two soils and their effects upon yields and nutrient contents of german millet and alfalfa. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.36, p.927-930, 1972.

MELLO, J. C. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, E. V.; CRUSCIOL, C. A. C.; BÜLL, L. T. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférico decorrentes da Granulometria e doses de calcário em Sistemas plantio direto e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.553-561, 2003.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.17, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Organic mobility of surface applied lime under no tillage. *In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCE SOCIETY*, 9., Adelaide, 1998. Adelaide: International Humic Substance Society, 1999. p.166.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Resíduos vegetais: Influência na química de solos ácidos. *In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO*, 2000. Anais... Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p.82-94.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. *Plant Physiology*, v.36, p.290-295, 1961.

MORELLI, S. L.; DALBEN, A. E.; ALMEIDA, J. O. C.; DEMATTÊ, J. L. I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.187-194, 1992.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do calcário na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.249-255, 1999.

MOREIRA, A. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.2051-2056, 2000.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.71-81, 2001.

MOUSSA-MACHRAOUIA, S. B.; ERROUISSIB F.; SAÏD-NOUIRA M. B. H. Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil & Tillage Research*, v.106, p.247-253, 2010.

MUNOZ HERNANDEZ, R. J.; SILVEIRA, R. I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays L.*). *Scientia Agricola*, v.55, p.79-85, 1998.

MUCHOVEJ, R. M. C. Effect of liming levels and Ca/Mg ratios on yields, nitrogen content and nodulation of soybeans grown in acid cerrado soil. *Soil Science*, v.37, p.235-240, 1986.

MUZZILI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.7, p.95-102, 1983.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. *Soil & Tillage Research*, v.38, p.47-57, 1996.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S.; COSTA, A. Resposta da cultura de milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.65-70, 1997.

ORLANDO FILHO, J. O.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.14, p.13-17, 1996.

OLOGUNDE, O. O.; SORENSEN, R. C. Influence of concentrations of K and Mg in nutrient solution on sorghum. *Agronomy Journal*, v.74, p.41-46, 1982.

PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Mobilização do calcário no solo através de resíduos da aveia. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 18, Londrina, 1998. Anais... Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1998. p.72-79.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKY, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76)

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICENT-CHANDLER, J.E. Effect of lime and nitrogen applications on downward movement of calcium and magnesium in two humid tropical soil of Puerto Rico. *Soil Science*, v.93, p.77-82, 1962.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.885-895, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.75-684, 1998.

QUAGGIO, J. A.; MASCARENHAS, H. A. A.; BATAGLIA, O. C; Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em latossolo roxo distrófico de cerrado. II. Efeito residual. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, p.113-118, 1982.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. Agronomic efficiency of limestones with different acid-neutralizing capacity, under field condition. In: SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 3., 1995, Brisbane. Proceeding...Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1995. p.491-496.

QUAGGIO, J. A. *Acidez e calagem em solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. van; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. *Soil Science Society of America Proceedings*, v.36, p.587-593, 1972.

RAIJ, B. van. Estudo de materiais calcários usados como corretivos do solo no Estado de São Paulo. IV. O poder relativo de neutralização total. *Bragantia*, v.36, p. 139-145, 1977.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A. P. ; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.6, p.33-37, 1982.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. *Análise química de solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas, Instituto Agronômico, 1996. 285p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*, v.30, p.263-268, 2000a.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C.; GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.797-805, 2000b.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.700-709, 2000.

RITCHEY, K. D.; URBEN FILHO, G.; SPEHAR, C. R. Deficiência de manganês induzida por doses excessivas de calcário em um Latossolo Vermelho-Escuro, anteriormente sob vegetação de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, Brasília, 1981. Anais... Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1982. P.541-544.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.19, p.1443-1448, 1984.

ROUT, G. R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, v.21, p.3-21, 2001.

RUIZ, H. A.; MIRANDA, J.; CONCEIÇÃO, J. C. S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.1015-1018, 1999.

SÁ J. C. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. *In: SIQUEIRA J.O.; MOREIRA, F.M.S. (Eds.) Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas.* Lavras, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. p.267-319.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *Revista Científica da Unicruz*, v.1, p.9-13, 1999.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico vermelho-escuro de Eldorado de Sul (RS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.313-319, 1995.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.449-454, 1995.

SHAINBERG, I.; SUMNER, M. E.; MILLER, W. P.; FARINA, M. P. W.; PAVAN, M. A.; FEY, M. V. Use of gypsum on soils: a review. *Advances in Soil Science*, v.9, p.1-111, 1989.

SCHILDKNECHT, P. H. P. A. *O efeito tóxico do  $Al^{3+}$  em raízes de milho e em células V79 e a participação da parede celular na tolerância ao cátion.* Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 143p. (Tese de Doutorado)

SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA, J. E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.15, p.329-333, 1980.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetado pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.191-199, 2000.

SIMSON, C. R.; COREY, R. B.; SUMNER, M. E. Effect of varying Ca/Mg ratios on yield and composition of corn (*Zea mays*) and alfafa (*Mendicago sativa*). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.153-162, 1979.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.675-688, 2008.

SOUZA, D. M. G. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiências no Cerrado. *In: FERTIBIO, Santa Maria, 2000. Anais...Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.*

SUMNER, M. E. *Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance.* *In: JAYAWARDANE, N.S.; STEWART, B.A. (Eds.) Subsoil management techniques.* Athens: Lewis Publishers, 1995. p.147-185.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmedp, 2004. p.449-484.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A. Deficiência de manganês em soja induzida por excesso de calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, p.247-250, 1992.
- TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. *Nutrição mineral da soja*. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Eds.) *Cultura da soja nos cerrados*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1993. p.105-135.
- TAYLOR, G. J. *The physiology of aluminum phytotoxicity*. In: SIEGAL, H.; SIEGAL, A. (Eds.) *Metals Ions in Biological Systems*. New York: Marcel Dekker, 1988. p.123-163.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. *Escolha do corretivo da acidez do solo*. In: KAMINSKI, J. (Coord). *Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto*. Pelotas: Nucleo Sul Brasileiro da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000. p.95-113.
- TISSI, J. A.; CAIRES, E. F.; PAULETTI, V. Efeito da calagem em semeadura direta de milho. *Bragantia*, v.63, p.405-413, 2004.
- WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, J. B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTI, M. Produtividade da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.26, p.477-484, 2005.
- WILLIAMS, P. H.; HAYNES, R. J. Comparison of initial wetting pattern, nutrient concentrations in soil solution and the fate of N<sup>15</sup>-labelled urine in sheep and cattle urine patch areas of pasture soil. *Plant and Soil*, v.162, p.49-59, 1994.
- WISNIEWSKI, C.; HOLTZ, G. P. Decomposição da palhada e liberação de nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.32, p.1191-1197, 1997.
- WUEST, S. B. Soil biopore estimation: effects of tillage, nitrogen, and photographic resolution. *Soil & Tillage Research*, v.62, p.111-116, 2001.
- ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de Latossolo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.37, p.110-117, 2007.
- ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.42, p.257-262, 1999.