

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EFICIÊNCIA DE CALCÁRIO CALCÍTICO E
DOLOMÍTICO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DE
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marquel Jonas Holzschuh

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

EFICIÊNCIA DE CALCÁRIO CALCÍTICO E DOLOMÍTICO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DE SOLOS SOB PLANTIO DIRETO

por

Marquel Jonas Holzschuh

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de
Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Nutrientes, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. João Kaminski

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EFICIÊNCIA DE CALCÁRIO CALCÍTICO E DOLOMÍTICO NA
CORREÇÃO DA ACIDEZ DE SOLOS SOB PLANTIO DIRETO**

Elaborada por
Marquel Jonas Holzschuh

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Comissão Examinadora

**João Kaminski, Dr.
(Presidente/Orientador)**

**Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)**

Claudio Henrique Kray, Dr. (CEFET/BG)

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2007.

DEDICO aos meus pais Alvarindo Holzschuh
e Norma Anida Ehrhardt Holzschuh pelo apoio,
conselhos e incentivo, demonstrando que somente
a persistência, trabalho e dedicação origina a conquista.

A raiz do verdadeiro êxito reside
na vontade de ser o melhor
que puder chegar a ser.

Harold Taylor

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Solos, que auxiliaram e possibilitaram a realização do trabalho.

Ao professor João Kaminski, pelo desafio da orientação, estímulo ao espírito de pesquisa, exemplo de dedicação e persistência e, acima de tudo, amizade.

Ao professor Hardi Rene Bartz, pela auxílio na orientação e dedicação incansável em momentos decisivos no andamento do trabalho, exemplo de honestidade, humanismo e amizade.

Ao professor Leandro Souza da Silva pelo auxílio no decorrer do curso e contribuição, principalmente nos momentos finais do trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação pelos ensinamentos e pela oportunidade de convívio com profissionais dedicados ao desenvolvimento da ciência do solo.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao SINDICALC, pela importante ajuda financeira para a execução do projeto de pesquisa.

À Cooperativa Triticola Regional Santo Ângelo Ltda (COTRISA); Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FECOTRIGO-FUNDACEP) e à Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) pela cedência das áreas experimentais e auxílio na condução dos trabalhos de campo.

Aos colegas, em especial a Elisandra Pocojeski, Letícia Sequinatto, Andressa Lauermann, Clamarion Maier, Ursino Federico Barreto Riquelme e Rosane Martinazzo pelas discussões no decorrer das disciplinas, pelas valiosas horas de convívio e boas recordações dos momentos de lazer e alegria.

Agradeço de maneira especial, aos bolsistas de iniciação científica Tales Tiecher, Marcelo Klein, Vagner Moro, Ângela Valeria Casali, Jader dos Santos Toledo, Carlos Alberto Casali e colaboradores, que não importando a dimensão ou a importância do trabalho, o realizaram de forma brilhante e com qualidade.

Em especial, a Luiz Francisco Finamor, grande guerreiro, incansável e dedicado no auxílio prestado na condução dos trabalhos, exemplo de honestidade, generosidade e amizade.

À Betania Brum e Gustavo Brunneto pelo auxílio na realização das análises estatísticas.

Aos funcionários do Laboratório de Análises de Solos Anderson Boff, Paulo Roberto Giacomini, Sérgio J. Tascheto Carlosso e Maria Medianeira Saccol Wiethan, e do secretário do PPGCS Tarcísio Uberti pelo auxílio prestado.

Aos funcionários Luiz, Antoninho e Ênio pelo auxílio nos trabalhos de campo, generosidade e excelente convívio.

Ao agricultor, por dar razão e orientação de toda pesquisa, meu motivo de estímulo para abraçar o curso de Agronomia e a Ciência do Solo.

Enfim, agradeço ao apoio de todos que fizeram parte deste momento e serão lembranças vívidas em minha memória.

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Atributos químicos das áreas experimentais. UFSM - Santa Maria, 2005.....	33
TABELA 2 - Relações quantitativas entre Ca e Mg ocorrentes nos calcários calcítico e dolomítico e nas proporções construídas.....	34
TABELA 3 - Produção de matéria seca de aveia preta e rendimento de grãos de soja em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em quatro solos do RS.	41
TABELA 4 - pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico – Santa Maria	42
TABELA 5 - pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Cruz Alta.	43
TABELA 6 - pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Santo Ângelo.....	44

TABELA 7 -	pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico - São Gabriel.....	45
TABELA 8 -	Teores de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg no tecido vegetal da soja (safra 2004/05) em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em três solos do RS.....	48
TABELA 9 -	Teores de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg no tecido vegetal da aveia preta (inverno de 2005) em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em quatro solos do RS..	49
TABELA 10 -	Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico arênico - Santa Maria...	64
TABELA 11 -	Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Cruz Alta.....	65
TABELA 12 -	Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Santo Ângelo.....	66
TABELA 13 -	Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico - São Gabriel.....	67

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - pH em H ₂ O em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Cruz Alta) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	53
FIGURA 2 - pH em H ₂ O em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Santo Ângelo) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	54
FIGURA 3 - pH em H ₂ O em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Santo Ângelo) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	55
FIGURA 4 - pH em H ₂ O em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico (São Gabriel) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	56
FIGURA 5 - Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Cruz Alta) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	58
FIGURA 6 - Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Santo Ângelo) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	59

FIGURA 7 - Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico arênico (Santa Maria) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	60
FIGURA 8 - Alumínio trocável em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico (São Gabriel) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).....	61

LISTA DE APÊNDICES

	Página
APÊNDICE A - Análise da variância para a produtividade de matéria seca de aveia preta do experimento Cruz Alta	80
APÊNDICE B - Análise da variância para a produtividade de matéria seca de aveia preta do experimento Santo Ângelo	80
APÊNDICE C - Análise da variância para a produtividade de matéria seca de aveia preta do experimento Santa Maria	81
APÊNDICE D - Análise da variância para a produtividade de matéria seca de aveia preta do experimento São Gabriel	81
APÊNDICE E - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento Santo Ângelo	82
APÊNDICE F - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento São Gabriel..	83
APÊNDICE G - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento Santa Maria..	84
APÊNDICE H - Análise da variância para o rendimento de grãos de soja do experimento Cruz Alta	85

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO GERAL	19
2.1 Objetivos específicos.....	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 Calagem nos solos ácidos	21
3.2 Interações entre cálcio e magnésio e sua disponibilidade no solo	24
3.3 Efeito das interações entre cálcio e magnésio na composição mineral e rendimento das culturas	25
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Caracterização das áreas experimentais	32
4.2 Tratamentos	33
4.3 Delineamento experimental	34
4.4 Plantas teste	35
4.5 Avaliações realizadas	35
4.5.1 Rendimento	35
4.5.2 Análises de solo	36
4.5.3 Análises de tecido vegetal	36
4.5.4 Análises estatísticas	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Produção de matéria seca da aveia preta e rendimento de grãos de soja	38
5.2 Concentração de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg no tecido vegetal da soja e aveia preta	47

5.3 Efeito no solo de proporções de calcário calcítico e dolomítico	52
5.3.1 Correção da acidez	52
5.3.2 Cálcio e magnésio trocáveis	62
6 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
APÊNDICES.....	79

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

EFICIÊNCIA DO CALCÁRIO CALCÍTICO E DOLOMÍTICO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DE SOLOS SOB PLANTIO DIRETO

AUTOR: MARQUEL JONAS HOLZSCHUH
ORIENTADOR: JOÃO KAMINSKI
Santa Maria, 23 de fevereiro de 2007.

A aplicação de calcário, além de corrigir a acidez do solo, eleva os teores de cálcio e de magnésio, alterando a relação Ca/Mg no solo, levando técnicos e produtores a levantar a hipótese de que o uso continuado de calcários que fornecem relações Ca/Mg inadequadas poderia promover um desequilíbrio iônico entre o Ca e o Mg no solo e afetar o desenvolvimento das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico na correção da acidez do solo, na produtividade de diferentes culturas e nos teores de Ca e Mg no tecido vegetal em sistema de plantio direto. Foram instalados quatro experimentos em diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul em outubro do ano de 2004 e conduzidos até março de 2006, totalizando dois cultivos de soja e um cultivo de aveia preta. Os tratamentos foram constituídos pelas seguintes proporções de calcário calcítico e dolomítico: Testemunha; 100 % calcítico; 75 % calcítico e 25 % dolomítico; 50 % calcítico e 50 % dolomítico; 25 % calcítico e 75 % dolomítico e 100 % dolomítico, arranjados em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo as parcelas principais constituídas pelos modos de aplicação superficial e incorporada e as subparcelas submetidas às proporções de calcário. Foram avaliadas a produção de matéria seca de aveia preta, rendimento de grãos de soja e teores de Ca e Mg no tecido vegetal da soja e da aveia preta. Em amostras de solo coletadas nas camadas de 0 – 5; 5 – 10; 10 -15; 15 – 20; 0 – 10 e 0 - 20 cm, foram determinados os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH H₂O, índice SMP, saturação por bases e relações Ca/Mg. Todas as variáveis foram submetidas à análise da variância a 5% e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. A relação Ca/Mg e os modos de aplicação de calcário não tiveram influência na produtividade de aveia e soja. Os teores de Ca e de Mg no tecido não foram influenciados pelas teores relações Ca/Mg do solo. A correção da acidez, neutralização do Al trocável, elevação dos teores de Ca e Mg e saturação por bases somente ocorreu na camada de 0-5 cm na aplicação superficial e até a camada de 10-15 cm na aplicação incorporada.

Palavras chave: calagem, relação Ca/Mg, plantio direto

ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

CALCITIC AND DOLOMITIC LIME EFFICIENCY ON SOIL ACIDITY NEUTRALIZATION IN NO-TILLAGE SYSTEM

AUTHOR: MARQUEL JONAS HOLZSCHUH

Adviser: JOÃO KAMINSKI

Santa Maria, February, 23, 2007.

Liming is used to decrease soil acidity and increase exchangeable calcium and magnesium levels, but it may impaired calcium and magnesium ratios with continuous use of dolomitic or calcitic lime. The aim of this work is to evaluate the efficiency of different proportions of calcitic and dolomitic lime on soil acidity neutralization, evaluated by crop yields and in the Ca and Mg levels in plant. Four experiments were carried out in different physiographic regions of Rio Grande do Sul in October 2004 and carried on until March 2006, with two soybean (*Glycine max* L. Merrill) and black oat (*Avena strigosa* Schieb)crops. The treatments were constituted by the following calcitic and dolomitic lime proportions: control without lime; 100% calcitic; 75% calcitic and 25% dolomitic; 50% calcitic and 50% dolomitic; 25% calcitic and 75% dolomitic and 100% dolomitic, arranged in randomized block design with subplot with four replications, being the main plots constituted by surface and incorporated methods and the secondary plots were submitted to the lime proportions. The black oat dry matter yield, the soybean grains yield and the levels of Ca and Mg in the soybean and black oat tissue were evaluated. In soil samples collected in layers from 0 – 5; 5 – 10; 10 -15; 15 – 20; 0 – 10 e 0 - 20 cm, the Ca, Mg e Al, exchangeable levels, pH H₂O, SMP index, bases saturation and the Ca/Mg ratios were determined. All the variants were submitted to the variance analysis at 5% and when significant, the means were compared by the Tukey test at 5%. The results show that the Ca/Mg ratio and the lime application methods did not have influenced in the soybean and black oat yield. The Ca and Mg levels in the tissue were not influenced by the Ca/Mg ratios. The acidity neutralization, the exchangeable Al neutralization, the increasing of the Ca and Mg levels and the base saturation only occurred in the layer of 0-5 cm on the surface application and until the layer of 10-15 cm in the incorporated application.

Key words: liming, Ca/Mg ratio, no-tillage

1 INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um dos fatores que limitam a produção das culturas em solos altamente intemperizados, como a maioria dos solos que ocorrem no Brasil. Os problemas com a acidez ocorrem, principalmente, por está associada a uma baixa capacidade de troca de cátions, baixa saturação por bases, elevados teores de alumínio, manganês e em algumas situações o ferro, além de afetar direta e indiretamente a disponibilidade de outros nutrientes essenciais, podendo provocar distúrbios fisiológicos nas plantas e afetar seriamente o rendimento das culturas.

A correção da acidez dos solos, portanto, é uma prática fundamental para elevar a capacidade produtiva destes solos. Assim, desde tempos remotos, vêm sendo utilizados diversos materiais que apresentam reação alcalina para corrigir os efeitos deletérios da acidez do solo. Os corretivos mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, principalmente pela sua abundância na natureza, facilidade de extração e uso, baixo custo e resultados agronômicos satisfatórios.

Com a aplicação do calcário, além da correção da acidez ocorre um aumento dos teores de cálcio e de magnésio, e, devido a variação na sua composição, a relação Ca/Mg no solo pode ser alterada. Nesse caso, em estudos conduzidos, principalmente em condições de casa de vegetação, tem-se observado que o excesso de Ca em relação ao Mg, assim como o excesso de Mg em relação ao Ca, podem influenciar na absorção destes cátions pelas plantas, devido a ocorrência de interações iônicas, determinadas pelas características físicas e químicas destes elementos. Entretanto, os resultados de pesquisa não são coincidentes, principalmente devido as diferentes condições em que foram obtidos, e, portanto, não são conclusivos a respeito da relação entre estes cátions mais adequada para as plantas. Neste caso, baseado nos conceitos de saturação e relações entre os cátions básicos, os quais foram criados sob condições distintas dos solos do Brasil, atualmente, ainda persiste a idéia de que devam ser ajustadas relações ideais entre o Ca e o Mg, com o intuito de promover um balanço entre estes cátions no solo e assim, assegurar uma adequada absorção pelas plantas.

Os solos agricultáveis do Estado do RS normalmente apresentam teores elevados de Mg disponível, chegando a uma relação Ca/Mg próxima de 1,0. Por

isso, e em virtude da grande disponibilidade de calcários dolomíticos no RS e o seu amplo uso, técnicos e produtores levantam a hipótese de que o uso continuado destes calcários poderiam promover um estreitamento da relação Ca/Mg no solo, ao ponto de causar um desequilíbrio iônico entre estes cátions, prejudicando o desenvolvimento das culturas.

Entretanto, características inerentes a estes elementos, como a forma de absorção, o papel fisiológico e a capacidade de redistribuição são muito diferentes entre eles, aliado a forma de como estes elementos se movimentam no solo até chegar a superfície da raiz. Isto sugere, que mesmo que se confirme a existência da interação entre os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} , existe a necessidade de confirmar se seus aspectos físicos e químicos são capazes de afetar a disponibilidade destes cátions e consequentemente o rendimento das culturas em condições normais de cultivo a campo.

2 OBJETIVO GERAL

Este trabalho foi elaborado com o objetivo de avaliar a eficiência de calcário calcítico e dolomítico com diferentes relações Ca/Mg, na correção da acidez do solo, na produtividade de diferentes culturas, nos teores de Ca e Mg no tecido vegetal e na saturação por bases no solo.

2.1 Objetivos específicos são:

- a) Avaliar o efeito de diferentes relações Ca/Mg no rendimento das culturas em diferentes solos do Estado do Rio Grande do Sul;
- b) Avaliar a eficiência dos calcários na correção da acidez;
- c) Monitorar os teores de Ca e de Mg e as relações Ca/Mg no solo e na planta.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A correção da acidez do solo é realizada pela aplicação de produtos de reação básica, que apresentam como principais compostos neutralizantes, os carbonatos de cálcio e de magnésio (CaCO_3 e MgCO_3) nos calcários agrícolas; óxidos de cálcio e de magnésio (CaO e MgO) na cal virgem; e hidróxidos de cálcio e de magnésio (Ca(OH)_2 e Mg(OH)_2) na cal apagada (Alcarde, 1983; Tedesco & Gianello, 2000).

Os corretivos mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, produto da moagem das rochas calcárias, sendo constituídos principalmente pela calcita (CaCO_3) e pela dolomita ($\text{Ca.Mg(CO}_3)_2$), em proporções variáveis, dependendo dos teores de carbonatos presentes.

As rochas calcárias ocorrem em praticamente todos os estados brasileiros. De acordo com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (2005), as reservas em 2004 totalizavam 305,806 bilhões de toneladas, das quais 149,084 bilhões de toneladas representam as reservas medidas, sendo que, 42,312 bilhões de toneladas representam as reservas lavráveis. A distribuição das reservas lavráveis ocorre principalmente nos Estados do Mato Grosso do Sul (17,80%), Minas Gerais (22,80%), Rio Grande do Norte (4,53%), São Paulo (7,32%), Ceará (4,75%), Paraná (10,32%), Mato Grosso (8,65%), Goiás (3,03%) e Bahia (5,17%). Os demais estados detêm apenas 10,87% das reservas. Somente nos Estados do Acre, Amapá e Roraima não se tem registro oficial de ocorrência de calcário.

No Estado do Rio Grande do Sul, as rochas calcárias ocorrem predominantemente na região que constitui o embasamento cristalino no Escudo Sul-riograndense, e de acordo com o Anuário Mineral Brasileiro (2005), detêm somente 0,37% do total das reservas lavráveis do país, o que corresponde a 158,610 milhões de toneladas, que estão distribuídas da seguinte forma: Arroio Grande (3,26%); Bagé (0,32%); Butiá (10,82%); Caçapava do Sul (32,93%); Cachoeira do Sul (0,59%); Candiota (26,95%); Pantano Grande (7,74%); Pedro Osório (6,29%); São Gabriel (5,75%) e Vila Nova do Sul (0,30%).

Conforme prevê a legislação brasileira, os calcários agrícolas são classificados como calcíticos, quando o teor de MgO é inferior a 5% e dolomíticos

quando o teor de MgO é superior a 5% (Brasil, 2004). De uma maneira geral a composição dos calcários encontrados no Rio Grande do Sul apresenta de 26 a 28% de CaO e 14 a 18% de MgO, sendo portanto, classificados como dolomíticos. Entretanto, em menor escala também podem ser encontradas jazidas com calcários calcínicos (Becker, 2000). Estima-se que, as reservas de rochas calcárias no Rio Grande do Sul apresentam uma composição variável de 95% de CaCO_3 : $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$ a $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$ puro, ou seja, a relação molar de Ca/Mg varia de aproximadamente 36:1 a 1:1 (Mello, 1985).

Desta forma, a composição variada dos calcários do Estado do Rio Grande do Sul pode provocar alterações nas concentrações e nas relações destes nutrientes no solo, com possíveis reflexos na sua disponibilidade e, conseqüentemente, na produtividade das culturas comerciais, toda vez que seja necessária realizar uma nova calagem.

3.1 Calagem nos solos ácidos

A calagem é uma das práticas agrícolas menos dispendiosas e efetivas na melhoria das condições do ambiente em que as plantas se desenvolvem, principalmente, pela elevação do pH, neutralização do Al trocável, fornecimento de Ca e de Mg, além de influenciar na disponibilidade de outros nutrientes, caracterizando um insumo de vital importância para o desenvolvimento das culturas e, como tal, vem sendo utilizada desde tempos imemoriáveis com essa finalidade (Kaminski, 1989).

A eficiência da calagem é dependente de vários fatores, entre eles, está relacionada com a área superficial de contato com o solo, que depende da uniformidade da aplicação e da antecedência em relação aos períodos de demanda pelas culturas (Anghinoni & Salet, 2000). Entretanto, na escolha do corretivo alguns aspectos em relação à sua qualidade devem ser observados, principalmente das suas características químicas, como o teor e do tipo de compostos neutralizantes, assim como pelas suas características físicas, que são determinadas pelo grau de moagem, ou seja, a sua granulometria (Tedesco & Gianello, 2000; Alcarde & Rodella, 2003).

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 Ca^{+2} e Mg^{+2} , HCO_3^- e 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 CaCO_3 é de $0,014 \text{ g L}^{-1}$ e o MgCO_3 de $0,106 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C , demonstrando que o carbonato de cálcio apresenta uma menor solubilidade em água do que o carbonato de magnésio (Tedesco & Gianello, 2000; Alcarde & Rodella, 2003). Entretanto, Barber (1967) afirma que, os calcários dolomíticos, apesar de apresentarem um maior poder de neutralização em relação ao equivalente em CaCO_3 , reagem mais lentamente com os solos ácidos do que calcários calcíticos, devido a maior estabilidade da dolomita comparada à calcita, o que demonstra um comportamento diferente entre os sais puros e os minerais que contém estes carbonatos.

Durante décadas, estudos têm sido desenvolvidos para definir as bases da calagem, incluindo trabalhos que comparam a eficiência entre calcários calcíticos e dolomíticos, 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.

As informações de pesquisa relacionadas ao manejo da acidez do solo, bem como as recomendações de calagem hoje existentes foram criadas com base no sistema de plantio convencional, visando sempre a incorporação do corretivo na camada arável do solo. Entretanto, com a introdução do Sistema de Plantio Direto (SPD) no sul do Brasil a partir da década de 70, surgiu, portanto, a necessidade de se adequar a prática da calagem para este sistema. O SPD apresenta características distintas em relação ao sistema convencional de preparo, principalmente em relação ao não revolvimento do solo, o que condiciona uma maior concentração de nutrientes na camada superficial, devido à deposição e ao acúmulo de material orgânico e fertilizantes inorgânicos (Muzilli, 1983; Anghinoni & Salet, 2000; Rheinheimer et al. 2000; Amaral, 2002; Gatiboni et al. 2003).

Nas recomendações de calagem para o plantio direto adotadas pela CQFS RS/SC (2004), as principais mudanças em relação à calagem no sistema convencional de preparo do solo estão relacionadas com a dose de calcário e a forma de aplicação. A dose é definida em função do critério de decisão que, por sua

vez, é dependente da acidez potencial do solo e da saturação por bases, enquanto que, a forma de aplicação é dependente da condição original da área. No SPD, a aplicação do corretivo pode ser feita na superfície ou incorporado, quando da instalação do sistema, ou em sistemas já implantados a recomendação prevê a aplicação na superfície.

A aplicação superficial de calcário, sem incorporação, proporciona um menor contato entre as partículas de solo e corretivo em comparação à aplicação incorporada, determinando que as reações de dissolução ocorram basicamente na superfície do solo. Assim, seus efeitos são observados gradativamente da superfície para as camadas mais subsuperficiais, constituindo a chamada frente de alcalinização, cuja taxa de progressão depende da disponibilidade de água, da dose aplicada, do tempo decorrente e das características físicas e químicas do solo (Rheinheimer et al. 2000; Amaral & Anghinoni, 2001; Gatiboni et al. 2003).

No entanto, o calcário aplicado na superfície tem apresentado uma baixa mobilidade no perfil do solo, determinando uma menor eficiência na correção da acidez nas camadas subsuperficiais (Gonzalez-Erico et al. 1979; Ziglio et al. 1999; Kaminski et al. 2005). Isto ocorre, basicamente, devido à baixa solubilidade e a alta reatividade dos ânions provenientes do corretivo com os ácidos presentes na camada de solo em está em contato (Ernani et al. 2001), restringindo os seus efeitos nas camadas superficiais do solo, mesmo após longos períodos da aplicação.

Pottker (2000) observou que, após três anos da aplicação do corretivo, os efeitos da calagem superficial ficaram restritos ao local de aplicação, com mudanças significativas na camada de 5 cm e pouco efeito na camada de 5-10 cm. Caires et al. (2000) observaram efeitos significativos da calagem no aumento de pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases apenas na camada de 0-10 cm após um ano da aplicação do corretivo. Em um experimento conduzido em um Argissolo Acinzentado distrófico plântico, Rheinheimer et al. (2000) observaram que, uma dose de 17 Mg ha⁻¹ de calcário aplicado na superfície foi eficiente na correção da acidez somente até a camada de 0-10 cm após um período de 48 meses, mantendo este efeito até 84 meses (Kaminski et al. 2005). Caires et al. (2006) observaram alterações significativas na elevação de pH e nos teores de Ca e de Mg até a profundidade de 10 cm após 18 meses da aplicação do calcário, mantendo valores semelhantes até os 30 meses, porém sem eficiência abaixo dos 10 cm. Resultados semelhantes

foram também obtidos por Kaminski et al. (2000); Franchini et al. (2001) e Moreira et al. (2001).

A baixa mobilidade determina que ocorra uma acumulação do calcário na superfície do solo, elevando significativamente os teores de Ca e de Mg, e conseqüentemente ocorre uma alteração na relação Ca/Mg. Várias referências têm sido feitas com respeito ao efeito da calagem sobre o fornecimento e a disponibilidade de Ca Mg e sobre a relação Ca/Mg do corretivo, levantando a hipótese de que, a aplicação continuada de corretivos que fornecem relações inadequadas de cálcio e magnésio resultariam em desbalanços entre estes cátions no solo, prejudicando o desenvolvimento das culturas.

3.2 Interações entre cálcio e magnésio e sua disponibilidade no solo

De uma maneira geral, admite-se que a taxa de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas está diretamente relacionada com a concentração destes nutrientes na solução (Nemeth et al. 1978). Entretanto, para Key et al. (1961); Khasawneh (1971); Hiatt & Leggett (1974) e Tisdale et al. (1985), a disponibilidade dos nutrientes não está relacionada apenas com a concentração dos cátions no solo, mas também, com as relações entre as espécies iônicas. Tais relações são também denominadas interações iônicas, e podem ocorrer tanto no solo como na planta, e influenciar na disponibilidade dos elementos.

Segundo Usherwood (1982), as interações entre os nutrientes são definidas como uma influência ou ação recíproca ou mútua de um elemento sobre a função química e/ou fisiológica de outro elemento, relativa ao crescimento das plantas, ou a resposta diferencial de um elemento em combinação com vários níveis de um segundo elemento aplicado simultaneamente em um mesmo meio, devido a algumas propriedades inerentes a cada elemento químico. Para Hiatt & Leggett (1974) e Orlando Filho et al. (1996), os íons, cujas propriedades químicas são similares, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, competem pelos sítios de adsorção, absorção e transporte na superfície radicular, sugerindo que, a presença de um possa prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, tal como acontece com os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} .

Hortenstine & Ozaki (1961) e Adams & Henderson (1962) relatam que ocorre uma redução na disponibilidade e no aproveitamento do Mg, quando o pH do solo é elevado pela adição de CaCO_3 . De maneira semelhante, Moore et al. (1961) observaram que a taxa de absorção de Mg foi reduzida significativamente pela adição de Ca quando comparado a um sistema sem Ca, sugerindo que o máximo influxo de Mg é dependente, não apenas dos níveis de Ca na solução do solo, mas também da presença de outros cátions como K^+ e NH_4^+ . Por outro lado, o efeito da presença de altas concentrações de Mg na redução da absorção de Ca também tem sido relatada (Dechen, 1983).

3.3 Efeito das interações entre cálcio e magnésio na composição mineral e rendimento das culturas

Devido as incertezas sobre a melhor maneira de avaliar o comportamento dos cátions básicos no solo (Ca, Mg e K), diversos trabalhos buscaram determinar índices que melhor definam a disponibilidade destes nutrientes para as plantas.

Jarusov (1937) foi um dos primeiros pesquisadores a mostrar que a capacidade de troca de um íon é influenciada pelo grau de saturação da CTC do solo, e que esta capacidade de troca depende dos íons complementares associados a ele nos sítios de troca, propondo que os cátions devam manter níveis de saturação da CTC ou relações entre si. Os principais proponentes da necessidade de se estabelecer relações adequadas ou manter um balanço de cátions na CTC do solo foram William A. Albrecht e Firman Bear nos anos de 1940 e 1950 em Wisconsin-EUA (Kelling & Peters, 2004).

O conceito atualmente utilizado sobre a saturação dos cátions básicos no solo foi proposto por Bear & Toth (1948), em experimentos conduzidos em casa de vegetação com alfafa, usando 20 solos de Nova Jersey-EUA. Este conceito propõe que um ambiente ideal para o desenvolvimento das plantas seria criado quando a CTC fosse ocupada por 65% de Ca; 10% de Mg, 5% de K e 20% de H, ou relações Ca/Mg de 6,5:1, Ca:K 13:1, Ca:H 3,25:1 e Mg:K 2:1. Mais tarde, Graham (1959 APUD Kelling & Peters, 2004) modificou o conceito original, sugerindo que o desenvolvimento e rendimento das culturas é pouco influenciado por saturações

situadas entre as faixas de 65-85% de Ca, 6-12% de Mg e 2-5% de K, sendo que, o H ocuparia os sítios restantes do complexo de troca. Já Albrecht (1975 APUD Young, 1999) recomendava faixas de 60-70% para Ca, 10-20% para Mg, 2-5% para K, 0,5-3% para Na e 10-15% para H. Recentemente, Baker & Amacher (1981 APUD Rehm, 1994) sugeriram valores entre 60 e 80% para o Ca, 10 e 20% para Mg, e 2 e 5% para K.

Entretanto, de acordo com Rehm (1994) e Kelling & Peters (2004) a publicação dos boletins que tratam sobre estes conceitos, somente fazem uma descrição geral da teoria, não detalhando os procedimentos adotados para sua obtenção, nem tampouco apresentando os resultados experimentais obtidos. Citam ainda que, a maioria destes trabalhos foram conduzidos em condições de casa de vegetação, sendo que, os resultados normalmente não eram submetidos à análises estatísticas, colocando em questão a confiabilidade dos trabalhos.

De acordo com Kelling & Peters (2004), os trabalhos de Bear & Prince (1945) e Bear & Toth (1948) parecem indicar que, a principal justificativa para recomendar 65% de saturação por Ca trocável é saturar os sítios de troca com o cátion mais abundante na natureza e menos oneroso, ao invés de se basear em alguma fundamentação agronômica, o que, na época promovia o consumo de calcário calcítico e gesso naquela região. As relações sugeridas por este conceito são decorrentes das relações originais observadas em solos de alta produtividade, ao invés de obtidas em função da adição de corretivos da acidez. Entretanto, desde a sua indicação, os valores propostos para os percentuais de saturação por bases, assim como as relações molares entre cátions vêm sendo amplamente utilizados para desenvolver programas de adubação em diversas regiões do mundo, assim como no Brasil.

Após a criação destes conceitos, um número expressivo de trabalhos foram conduzidos na tentativa de identificar e estabelecer os percentuais de saturação e relações entre cátions mais adequados para as culturas. Para Adams & Henderson (1962), a porcentagem de saturação com Mg representa um melhor índice para expressar a disponibilidade deste nutriente do que as relações trocáveis ou o teor de Mg trocável no solo e consideram deficientes, solos com menos de 4% da CTC ocupada com este elemento. Silva (1980) observou que, as melhores produções de milho foram obtidas em solos com 63 a 70% da CTC saturado com Ca. Cita ainda que, concentrações elevadas de Ca foram menos prejudiciais a desenvolvimento da

cultura, do que altas concentrações de Mg. Para Arantes (1983); Carmello (1989); Oliveira (1993) e Munhoz Hernandez & Silveira (1998) saturações por bases mais elevadas proporcionaram maior crescimento das plantas e maior produção de material seco de milho. De acordo com Lopes et al. (1991); Van Raij (1991) e Fageria, (2001), o valor ideal da saturação por bases para as culturas do feijoeiro, soja e milho, está na faixa de 60-70% para solos do cerrado.

Por outro lado, Key et al. (1961) observaram que, a saturação com Mg no solo tinha pouca influência na quantidade de Mg absorvida pela planta, considerando que o Mg trocável era um índice de disponibilidade mais satisfatório. Liebhardt (1981) verificou que, os rendimentos de soja foram pouco influenciados pela saturação por Ca e Mg do solo e McLean & Carbonell (1972) não observaram variações no rendimento de milho alemão e alfafa, quando as saturações de Mg e Ca no solo variavam de Mg 5%:75% Ca a Mg 25%:75% Ca. Resultados semelhantes foram também obtidos por Lierop et al. (1979) e Fox & Piekielek (1984).

Moreira et al. (1999) e Gomes et al. (2002) observaram alterações nas concentrações de Ca e Mg no tecido da alfafa sob diferentes relações Ca/Mg, nos quais, houve aumento dos teores de Ca e decréscimos nos teores de Mg com o aumento da relação Ca/Mg do corretivo. Em um cultivo de soja e milho conduzido em casa de vegetação, testando relações Ca/Mg variando de 50:1 a 1:50. Key et al. (1961) observaram um aumento nos teores de Mg no tecido na medida em que diminuía as relações Ca/Mg no solo. Resultados semelhantes foram obtidos em casa de vegetação por Lierop et al. (1979), cultivando cebola com a aplicação de CaCO_3 e MgCO_3 nas proporções de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 e 0:100 % e Grove & Sumner (1985) na cultura do milho, com a aplicação de Ca e Mg de diferentes fontes.

Embora, se observe uma diferença nas concentrações de Ca e Mg no tecido vegetal das plantas, devido a variação dos teores trocáveis no solo, as relações Ca/Mg no tecido vegetal não seguem o mesmo padrão das relações Ca/Mg observadas no solo.

Oliveira & Parra (2003) citam que as relações Ca/Mg no tecido da parte aérea do feijoeiro foram influenciadas pelas relações Ca/Mg dos solos, porém não na mesma proporção e apresentaram diferenças entre solos com diferente CTC. Citam ainda que, ao contrário da redução observada nas concentrações de Mg de acordo com o aumento da relação Ca/Mg no solo, as concentrações de Ca e Mg no tecido

foram positivamente relacionadas com os teores absolutos de Ca e Mg trocáveis no solo. Os trabalhos conduzidos por Simson et al. (1979) sobre o efeito da relação Ca/Mg do solo na relação Ca/Mg do tecido do milho e alfafa mostraram que, a relação na planta foi 1/3 da relação dos sítios de troca.

As variações nos teores de Ca e Mg no tecido vegetal podem estar relacionadas não apenas com a disponibilidade no solo, mas também com as diferenças nas taxas de absorção de íons de diferentes espécies de plantas (Mengel & Barber 1974). Conforme citam Loneragan & Snowball (1969), espécies dicotiledôneas normalmente apresentam maiores conteúdos de cátions divalentes no tecido vegetal, quando comparado a espécies monocotiledôneas, sendo que, o reverso também é verdadeiro para cátions monovalentes.

Para Barber (1995), a concentração dos nutrientes na solução requerida para atingir a máxima taxa de crescimento não está diretamente relacionada com a concentração dos elementos no tecido vegetal. Isto ocorre, principalmente, porque é possível observar que, ocorre uma absorção superior a 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 a manutenção de concentrações ideais ao metabolismo celular (Taiz & Zeiger, 2004).

Conforme Barber et al. (1962), a disponibilidade dos nutrientes é governada principalmente pela taxa em que os íons se movem no solo até a superfície radicular. Desta forma, 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 a necessidade e capacidade de absorção da planta (Barber, 1962; Barber, 1995), o que pode ser um indício de que, as relações Ca/Mg no solo são pouco relevantes no processo de absorção pelas plantas.

Simson et al. (1979) observaram que, o suprimento de Ca e Mg para a raiz por fluxo de massa e interceptação radicular foi superior de duas até quatro vezes a taxa de absorção. Al-Abbas & Barber (1964) obtiveram resultados semelhantes para o Ca, no entanto, 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) observou que, o fluxo de massa supriu todo o Ca e Mg requerido pela planta. Cita ainda que, os valores calculados para o fluxo de massa foram superiores aos acumulados no

vegetal, reforçando a hipótese da existência de mecanismos responsáveis pela regulação na absorção destes nutrientes, quando a demanda foi atendida. Resultados semelhantes foram obtidos por Barber & Ozanne (1970) e Vargas et al. (1983).

Embora os resultados indiquem que o conteúdo dos cátions dentro da planta varie em função dos teores de Ca e de Mg e as relações entre estes cátions no solo, o desenvolvimento e os rendimentos das culturas nem sempre são significativamente afetados. Segundo Hunter (1949); Moreira et al. (1999); Moreira et al. (2000) e Gomes et al. (2002), não foram observadas alterações no rendimento da matéria seca da alfafa quando foram testadas 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) que verificaram a ausência de efeito de uma amplas variações na relação Ca/Mg do solo no rendimento de diversas culturas.

Por outro lado, vários trabalhos têm registrado que a relação Ca/Mg influencia no rendimento das culturas. Silva (1980) relata que, os melhores rendimentos de milho foram obtidos com relação a Ca/Mg de 3:1. Fageria (2001) cita que, os valores mais adequados da relação Ca/Mg no solo, foram de 1,8, 2,3, 2,4 e 2,6 no rendimento das culturas de arroz, feijão, milho e soja respectivamente.

Para Munhoz Hernandez & Silveira (1998), a produção de matéria seca de milho foi influenciada pelas relações Ca/Mg em interação com as saturações por bases. Neste experimento, a saturação por bases de 50% mostrou maior eficiência no rendimento quando as relações Ca/Mg no solo eram de 2:1 e 3:1. Já, quando a saturação por bases era de 70%, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, com o aumento 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 pode ser atribuído aos baixos teores de Mg no solo, em associação ao desequilíbrio da relação Ca/Mg no solo, provocado pelos corretivos com alta proporção de Ca, possivelmente pela deficiência de magnésio induzida. Estas informações estão de acordo com a CQFS RS/SC (2004) sugerindo que, deva ser evitado o uso de calcários calcíticos quando os teores de Mg no solo estão enquadrados nas faixas de baixo ou muito baixos. Em plantas de milho, Arantes (1983) e Carmello (1989) observaram que o aumento das relações Ca/Mg

no solo provocou uma redução na produção de matéria seca da parte aérea. Já Lund (1970), cita que altas concentrações de Mg na solução em relação aos teores de Ca reduzem significativamente o crescimento da soja.

A variabilidade entre os valores citados pelos autores na quantificação das necessidades de calcário é, na sua maioria, originada pelo tipo de experimento utilizado para estas observações. Os experimentos de curta duração, normalmente concluem por doses menores de corretivos, ou saturações mais baixas. Isto ocorre, por que se a atividade do alumínio for baixa ou inexistente, as plantas apresentam condições de produzir satisfatoriamente e apresentar altos rendimentos. Já, os experimentos de longa duração avaliam também o efeito residual da calagem, que se torna mais prolongado, quanto maior for a dose empregada, o que justifica a escolha de saturações por bases mais altas. Isto significa que estes dois conceitos possuem bons argumentos, desde que se considere ou não a duração do efeito.

Em relação às relações Ca/Mg, os resultados não são coincidentes e pouco conclusivos a respeito da determinação da relação molar de Ca/Mg no calcário ou no solo que esteja relacionada com o melhor rendimento das culturas. Os diferentes efeitos observados podem estar relacionados com as condições em que os resultados foram obtidos. Neste caso, a grande maioria dos experimentos realizados com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes relações Ca/Mg foram conduzidos em condições de casa de vegetação, normalmente com plantas em estágio inicial de desenvolvimento e limitações inerentes ao reduzido ambiente em que foram cultivadas. Ou ainda, a partir de observações feitas em solos com fertilidade natural elevada e pouco ácidos. Assim, as relações observadas naqueles experimentos passaram a ser difundidas e recomendadas como as mais apropriadas para todos os solos, inclusive os ácidos, com necessidade de correção da acidez. A escolha de determinada relação pode ter se originado, tanto de um solo pouco ácido ou mesmo, das próprias relações escolhidas por pesquisadores nos seus tratamentos, quando da instalação de seus experimentos, o que, não justifica que possam ser vistos como uma regra na tomada de decisão sobre o melhor nível de Ca e Mg em diferentes tipos de solos.

A importância da relação Ca/Mg pode estar relacionada não apenas com o potencial de fornecimento destes nutrientes pelo solo, mas também com a necessidade nutricional diferenciada das espécies cultivadas, pela marcha de absorção de Ca e de Mg e o estágio de desenvolvimento da planta, e ainda, com os

mecanismos que determinam o movimento de Ca e de Mg no solo. Neste caso, em condições normais de cultivo a campo, com plantas completando o seu ciclo de vida, o efeito das interações entre o Ca e o Mg pode alcançar outras proporções, e, conseqüentemente outras conclusões poderão ser obtidas em relação ao suprimento destes cátions.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi composto por quatro experimentos localizados em diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul. As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Fertilidade e Química do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. Os experimentos foram instalados a campo em outubro de 2004 e conduzidos até março de 2006, totalizando dois cultivos de verão e um cultivo de inverno.

4.1 Caracterização das áreas experimentais

Os ensaios foram conduzidos nas seguintes áreas experimentais: Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FECOTRIGO-FUNDACEP); localizada na região fisiográfica do Planalto Médio, no município de Cruz Alta em um Latossolo Vermelho distrófico típico; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) localizada na região fisiográfica da Campanha, no município de São Gabriel em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico; Cooperativa Tritícola Regional Santo Ângelo Ltda (COTRISA) localizada na região fisiográfica do Planalto, no município de Santo Ângelo em um Latossolo Vermelho distrófico típico e no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na região fisiográfica da Depressão Central, no município de Santa Maria em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006).

Os atributos químicos das áreas foram determinados antes da instalação dos experimentos, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), em amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm e são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos químicos das áreas experimentais. UFSM - Santa Maria, 2005.

Área	Prof cm	MO	Arg.	pH	Ca	Mg	Al	CTC _{Efet.}	V	Al	P	K	Ca/Mg
		g kg ⁻¹		H ₂ O	cmol _c dm ⁻³				%		mg dm ⁻³		
SG	0-10	24	300	5,0	4,8	1,3	0,6	6,8	74	9	8,4	44	3,7
	10-20	22	310	4,9	4,7	1,2	0,6	6,5	73	8	3,7	64	3,9
SM	0-10	17	150	5,3	1,7	1,0	0,3	3,8	50	8	6,0	300	1,7
	10-20	10	190	4,9	1,5	0,6	1,3	3,5	39	37	1,5	108	2,5
SA	0-10	32	620	5,1	3,8	1,5	0,7	6,7	47	10	17,1	276	2,5
	10-20	23	880	5,0	2,8	1,1	1,9	6,1	30	31	8,4	124	2,5
CA	0-10	29	790	5,0	2,9	1,3	1,6	6,1	40	26	15,3	120	2,2
	10-20	23	810	4,7	2,6	1,2	1,4	5,4	32	26	11,8	84	2,2

- SG – São Gabriel; SM – Santa Maria; SA – Santo Ângelo e CA – Cruz Alta

4.2 Tratamentos

Os tratamentos foram constituídos por proporções de calcário calcítico e dolomítico, com o objetivo de obter diferentes relações entre cálcio e magnésio. Foram utilizados calcários comerciais, sendo que, o calcítico apresentava 45 % de CaO e 1,5 % de MgO e uma reatividade de 76 % e o dolomítico apresentava 32 % de CaO e 14 % de MgO, e uma reatividade de 77 %, com PRNT de 64 e 70 respectivamente. A dose aplicada foi a equivalente para elevar o pH do solo até 6,0, segundo indicado pelo método SMP. Considerando o PRNT de 100%, a recomendação de corretivo para os solos estudados foi de 6,1 Mg ha⁻¹ para os solos de Santa Maria e São Gabriel e 7,5 Mg ha⁻¹ para os solos de Santo Ângelo e Cruz Alta. Os tratamentos utilizados, com as respectivas proporções de calcário foram os seguintes:

- T1 – Testemunha – sem calcário;
- T2 – 100 % calcário calcítico;
- T3 – 75 % calcário calcítico e 25 % calcário dolomítico;
- T4 – 50 % calcário calcítico e 50 % calcário dolomítico;
- T5 – 25 % calcário calcítico e 75 % calcário dolomítico;
- T6 – 100 % calcário dolomítico

A relação Ca/Mg dos tratamentos foi obtida com base nos teores de Ca e de Mg do calcário calcítico e do dolomítico, calculada separadamente para cada proporção, e são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Relações quantitativas entre Ca e Mg ocorrentes nos calcários calcítico e dolomítico e nas proporções construídas.

	Tratamentos					
	Testemunha	Calcítico ² 100%	Calcítico 75:25% Dolomítico	Calcítico 50:50% Dolomítico	Calcítico 25:75% Dolomítico	Dolomítico ³ 100%
Ca/Mg corretivo calc. ¹	—	30,0	9,1	4,9	3,2	2,2

¹ Relação molar Ca/Mg calculada a partir dos teores de Ca e de Mg provenientes dos calcários calcítico e dolomítico.

² Calcário calcítico: CaO=45 e MgO=1,5 %

³ Calcário dolomítico: CaO=32 e MgO=14 %

As misturas das diferentes proporções dos corretivos foram realizadas com auxílio de uma betoneira. A aplicação foi feita manualmente na superfície em todas as parcelas dos experimentos e incorporada nas parcelas determinadas para tal.

Na área destinada ao experimento Santa Maria, o qual era mantido sob campo natural, procedeu-se uma roçada para eliminar a vegetação de maior porte, sendo posteriormente submetida a uma dessecação com glifosate, antes da instalação do experimento. Nas áreas experimentais de Santo Ângelo, Cruz Alta e São Gabriel a instalação dos experimentos foi realizada em áreas que vinham sendo continuamente cultivadas sob plantio direto.

4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições, totalizando 2 parcelas principais e 48 subparcelas. As parcelas principais foram divididas em duas faixas, com dimensões de 5 x 36 m, submetidas às formas de aplicação superficial e incorporado do corretivo.

Nas subparcelas, com dimensões de 5 x 6 m foram aplicados os tratamentos com diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico. A incorporação do calcário foi realizada através de aração e gradagem a uma profundidade de 20 cm, 30 dias antes da semeadura da soja na safra (2005/06). Após a implantação, os experimentos foram conduzidos sob Sistema de Plantio Direto (SPD).

4.4 Plantas teste

Os experimentos foram conduzidos obedecendo a um sistema de sucessão de culturas, sendo que no verão foi cultivada soja (*Glycine Max L. Merrill*) e aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) no inverno. Na condução dos experimentos, usaram-se as recomendações técnicas para cada cultura, principalmente, quanto a adubação, controle de plantas daninhas, de pragas e doenças.

A adubação de base e cobertura foi realizada com base nos resultados analíticos apresentados na tabela 1, seguindo as recomendações propostas no Manual de Adubação e Calagem para os Solos do RS e SC (CQFS - RS/SC, 2004). O manejo e os tratamentos culturais foram os preconizados pelas recomendações técnicas de cada cultura. Cabe ainda destacar que todas as operações de preparo do solo, dessecação, semeadura, adubação, controle de pragas, plantas daninhas e doenças foram mecanizadas.

4.5 Avaliações realizadas

4.5.1 Rendimento

As avaliações relacionadas às plantas foram realizadas através do rendimento de grãos para a soja e da produção de matéria seca para a aveia. A colheita de grãos de soja foi realizada colhendo-se 4 metros lineares de cinco fileiras

por subparcela, e para a produção de matéria seca de aveia, foram colhidas as plantas contidas em uma área útil de 1 m² por subparcela. Amostras de massa verde de aveia foram pesadas e submetidas a secagem em estufa a 60°C durante 72 horas para determinação do teor de umidade e rendimento de matéria seca.

4.5.2 Análises de solo

O monitoramento da disponibilidade de cálcio e de magnésio foi realizado em amostras de solo coletadas nas camadas de 0 – 5; 5 – 10; 10 -15; 15 – 20; 0 – 10 e 0 – 20 cm após o manejo da aveia em setembro de 2005. Foram também determinados os atributos de acidez, como pH em água, índice SMP e Al trocável, bem como a saturação por bases e as relações Ca/Mg trocáveis no solo.

O cálcio, magnésio e o alumínio trocáveis foram estimados através da extração com a solução de KCl 1M, sendo o cálcio e o magnésio determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) e o alumínio por Titulação com a solução de NaOH 0,0125 M. A determinação de pH em água, na proporção 1:1, foi realizada por potenciômetro de eletrodo combinado. As metodologias utilizadas para as determinações foram realizadas conforme descritas por Tedesco et al. (1995).

4.5.3 Análise de tecido vegetal

Por ocasião do pleno florescimento das culturas de soja e da aveia preta, foram coletadas amostras de tecido vegetal para avaliar o estado nutricional das plantas no ano de 2005. Para a cultura da soja foram coletadas amostras referentes ao primeiro trifólio totalmente desenvolvido abaixo do ápice da planta, totalizando 40 trifólios por amostra (parcela) (Malavolta,1992; CQFS RS/SC, 2004). Para a aveia preta, foram coletadas amostras de planta inteira, na ocasião em que foi realizada a colheita da cultura.

As amostras foram secas a 60°C por 72 horas, moídas em micromoinho e submetidas à digestão ácida com H₂SO₄ e H₂O₂, para posterior determinação dos

elementos desejados. O cálcio e o magnésio foram determinados por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA) conforme Tedesco et al. (1995).

4.6 Análises estatísticas

Todas as variáveis avaliadas foram submetidas à análise da variância e, quando significativas, até 5% de probabilidade, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de matéria seca da aveia preta e rendimento de grãos de soja

Os resultados de produção de matéria seca de aveia preta não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos nos quatro locais avaliados (Tabela 3). No experimento de Santa Maria, houve diferença ao nível de 6% (Apêndice C). Isto indica que, a diferença de rendimento de matéria seca equivalente a 531 kg ha^{-1} observada para os calcários em relação à testemunha (Tabela 3) pode ser atribuída às melhorias no solo proporcionadas pela calagem, principalmente na elevação do pH, no aumento da saturação por bases e na neutralização do alumínio trocável (Tabelas 4).

Na cultura da soja, não foram observadas diferenças de rendimento de grãos entre os tratamentos nos experimentos de Cruz Alta e São Gabriel (Tabela 3). No experimento de Santa Maria houve diferença entre os tratamentos somente em relação à testemunha (Tabela 3) evidenciando a resposta da calagem, no entanto, sem diferenças entre os calcários.

No experimento de Santo Ângelo, a diferença estatística foi observada à 7% de probabilidade (Apêndice E), sem mostrar diferenças entre as proporções de calcário. Neste mesmo experimento, a análise da variância indicou interação dos tratamentos com os modos de aplicação a 5%, entretanto, o teste de Tukey a 5% não foi sensível para mostrar tal diferença (Apêndice E), sugerindo que não houve influência da aplicação superficial e incorporada dos corretivos no rendimento de soja.

De uma maneira geral, as produtividades da soja podem ser consideradas satisfatórias, principalmente nos experimentos de Santo Ângelo, Cruz Alta e Santa Maria, variando de 2200 a 3313 kg ha^{-1} . Exceção é feita, ao experimento de São Gabriel, onde foram registrados os menores rendimentos, que variaram de 1100 a 1652 kg ha^{-1} (Tabela 3) o que possivelmente esteja associado ao déficit hídrico ocorrido nesta região do Estado, contribuindo para que as plantas não expressassem seu potencial produtivo.

A falta de resposta entre os calcários deixa claro que, qualquer uma das proporções utilizadas foi eficiente em fornecer quantidades suficientes de Ca e de Mg para a aveia preta e para a soja, e que, o gradiente de relações Ca/Mg criado no solo, após 12 meses a aplicação (Tabelas 4, 5, 6 e 7), não foi capaz de influenciar na disponibilidade e no suprimento de Ca e de Mg para estas culturas, ou qualquer efeito adicional na correção da acidez. Este fato sugere que, as interações iônicas entre estes nutrientes, observadas por diversos pesquisadores, não se manifestaram nas condições destes experimentos, indicando que, a aplicação de calcários contendo elevados teores de Mg, mesmo estreitando a relação Ca/Mg no solo, não chegou ao ponto de prejudicar a absorção e a produtividade das culturas avaliadas. Esta suposição é reforçada por estudos conduzidos por Al-Abbas & Barber (1964); Barber & Ozanne (1970); Simson et al. (1979); Vargas et al. (1983); Barber (1995) e Ruiz (1999) que avaliaram a aproximação de Ca e de Mg até a superfície das raízes das plantas, mostrando que, o fluxo de massa é capaz de transportar quantidades muito superiores as necessidades das plantas.

Os resultados obtidos neste estudo estão de acordo com os obtidos por Key et al. (1961); Hunter (1949); Foy & Barber (1958); Fox & Piekielek (1984); Oliveira (1993); Moreira et al. (1999); Moreira et al. (2000) e Gomes et al. (2002) que, não observaram diferenças significativas no rendimento de diversas culturas, quando submetidas a amplas relações Ca/Mg.

A resposta à calagem no experimento Santa Maria deve estar relacionada com a baixa saturação por bases e pelas elevadas saturações por Al apresentada por este solo na sua condição original, a qual pode ser observada na testemunha (Tabela 4). Deve-se ressaltar que, antes da instalação deste experimento, o solo era mantido com campo natural, portanto, sem receber qualquer tipo de insumo, justificando a sua baixa fertilidade natural. Já, para as áreas em que foram instalados os experimentos de Cruz Alta, Santo Ângelo e São Gabriel, que vinham sendo continuamente cultivadas e, portanto, recebiam fertilizações, não houve resposta da calagem.

Os resultados destes experimentos indicam que, embora os critérios de pH menor que 5,5, saturações por bases inferiores a 65% e presença de Al indiquem a necessidade de calcário nos quatro locais avaliados (Tabela 1), conforme preconiza a CQFS RS/SC (2004), na maioria dos casos não houve resposta da calagem para o rendimento de aveia preta e de soja (Tabela 3). Neste caso, pode-se inferir que,

saturações por bases em torno de 45% na amostragem realizada na camada de 0-10 cm e em torno de 30% na camada de 0-20 cm, as quais são observadas nas testemunhas, não foram limitantes para proporcionar um suprimento adequado de Ca e de Mg (Tabelas 5, 6 e 7). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por McLean & Carbonell (1972); Lierop et al. (1979); Liebhardt (1981) e Fox & Piekielek (1984) que observaram pouca ou nenhuma influencia no rendimento de diversas espécies cultivadas quando submetidas a amplas variações na saturação por bases.

Outro aspecto importante de se ressaltar é o fato de que, todos os solos apresentavam saturações por Al superiores a 10% e pH inferior a 5,5 (Tabelas 4, 5, 6 e 7) considerados como critérios para a aplicação de calcário, quando a saturação por bases é inferior a 65% (CQFS RS/SC, 2004). Entretanto, a saturação por alumínio e o pH baixo dos solos dos experimentos de Cruz Alta, Santo Ângelo e São Gabriel (Tabelas 5, 6 e 7) não influenciaram no desenvolvimento das culturas avaliadas, graças ao efeito residual das calagens anteriores. A falta de resposta à calagem em solos com baixo pH e presença de alumínio em experimentos conduzidos sob plantio direto na Região Sul do Brasil também foi observada por Pottker & Ben (1989); Caires et al. (1998); Caires et al. (1999); Caires et al. (2000); Caires et al. (2003) e Caires et al. (2004). Estes autores citam ainda que, a falta de resposta pode estar relacionada a teores de Ca e de Mg suficientes ao desenvolvimento das plantas, e ainda, pelo menor efeito tóxico do Al, devido a redução das concentrações das espécies tóxicas (Al^{+3} e $AlOH^{+2}$) e pela complexação do Al por ligantes orgânicos da matéria orgânica do solo favorecidas pelas condições criadas pelo plantio direto.

Tabela 3 - Produção de matéria seca de aveia preta e rendimento de grãos de soja, em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada.

Tratamento	Aveia (2005)		Soja (2005/06)		Média
	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.	
..... kg ha ⁻¹					
Santa Maria					
Testemunha	6193 ^{ns}	5849 ^{ns}	2587	2503	2545 b ¹
Calcítico 100%	6528	6783	2910	2915	2912 ab
Calcítico 75:25 dolomítico	6296	7673	3043	2814	2928 ab
Calcítico 50:50 dolomítico	5979	5823	2979	2748	2863 ab
Calcítico 25:75 dolomítico	6337	6241	3062	3044	3053 a
Dolomítico 100%	7101	6763	2889	2847	2868 ab
CV, %	11,1		11,8		
Santo Ângelo					
Testemunha	5870 ^{ns}	5002 ^{ns}	2432 ^{ns}	2271 ^{ns}	
Calcítico 100%	6867	5170	2936	2476	
Calcítico 75:25 dolomítico	6366	5905	2548	2894	
Calcítico 50:50 dolomítico	6623	6063	2632	2743	
Calcítico 25:75 dolomítico	5886	6265	2580	2619	
Dolomítico 100%	5582	6152	2630	2900	
CV, %	18,1		9,1		
Cruz Alta					
Testemunha	7349 ^{ns}	7408 ^{ns}	2738 ^{ns}	2915 ^{ns}	
Calcítico 100%	8350	8266	3082	3313	
Calcítico 75:25 dolomítico	7602	8154	3266	3286	
Calcítico 50:50 dolomítico	8227	8434	3241	3158	
Calcítico 25:75 dolomítico	8024	8438	3132	3290	
Dolomítico 100%	7868	7991	3091	3285	
CV, %	10,8		13,5		
São Gabriel					
Testemunha	6610 ^{ns}	7042 ^{ns}	1487	1100	
Calcítico 100%	7069	7378	1639	1348	
Calcítico 75:25 dolomítico	7367	6641	1502	1463	
Calcítico 50:50 dolomítico	7993	7627	1652	1572	
Calcítico 25:75 dolomítico	6994	6337	1522	1513	
Dolomítico 100%	7202	7447	1616	1191	
CV, %	13,2		16,2		
Média			1569 A	1364 B	

¹ Médias seguidas pela mesma não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} Médias não significativas pelo teste F ($p < 0,05$).

Tabela 4 – pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico – Santa Maria.

Tratamentos	Prof.	Superficial				Incorporado			
		pH	V*	Al**	Ca/Mg	pH	V	Al	Ca/Mg
		--- % ---				--- % ---			
Testemunha	0-10	4,5	21	35	1,5	4,5	27	29	2,3
	0-20	4,5	28	42	1,6	4,4	23	38	2,0
Calcítico 100%	0-10	5,2	67	2	4,3	5,4	73	1	4,8
	0-20	4,8	43	12	2,7	5,2	58	3	4,5
Calcítico 75:25% dolomítico	0-10	4,9	43	5	2,9	5,6	72	0	4,4
	0-20	4,5	39	24	2,4	5,1	65	2	3,8
Calcítico 50:50% dolomítico	0-10	5,0	56	2	3,0	5,5	72	1	3,1
	0-20	4,5	36	17	2,3	5,2	57	3	3,1
Calcítico 25:75% dolomítico	0-10	5,2	64	2	2,2	5,4	70	1	2,5
	0-20	4,7	39	13	1,8	5,2	60	5	2,4
Dolomítico 100%	0-10	4,9	50	8	1,8	5,6	71	1	2,1
	0-20	4,7	38	19	1,7	5,3	60	3	2,1

* Saturação por bases calculada em função da $CTC_{pH\ 7,0}$.

** Saturação por alumínio calculada em função da CTC efetiva.

Tabela 5 – pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Cruz Alta.

Tratamentos	Prof.	Superficial				Incorporado			
		pH	V*	Al**	Ca/Mg	pH	V	Al	Ca/Mg
			--- % ---				--- % ---		
Testemunha	0-10	4,6	42	14	2,2	4,7	45	15	2,4
	0-20	4,5	30	23	2,0	4,5	29	23	2,3
Calcítico 100%	0-10	5,3	63	1	3,9	5,7	69	2	5,2
	0-20	5,0	54	5	3,3	5,2	59	6	4,6
Calcítico 75:25% dolomítico	0-10	4,9	51	5	3,7	5,6	74	0	3,7
	0-20	4,5	33	16	2,8	5,0	63	2	3,2
Calcítico 50:50% dolomítico	0-10	5,3	64	0	2,7	5,2	65	2	2,5
	0-20	4,9	54	6	2,4	4,9	50	5	2,5
Calcítico 25:75% dolomítico	0-10	4,9	59	4	2,1	5,6	72	0	2,8
	0-20	4,8	46	11	1,9	5,2	62	5	2,4
Dolomítico 100%	0-10	5,2	60	2	1,7	5,3	65	0	1,8
	0-20	4,8	49	7	1,7	4,9	50	8	1,6

* Saturação por bases calculada em função da CTC_{pH 7,0}.

** Saturação por alumínio calculada em função da CTC efetiva.

Tabela 6 – pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distróférrico típico - Santo Ângelo.

Tratamentos	Prof.	Superficial			Incorporado				
		pH	V*	Al**	Ca/Mg	pH	V	Al	Ca/Mg
			--- %	---			--- %	---	
Testemunha	0-10	4,6	50	15	2,2	4,9	47	13	2,2
	0-20	4,5	50	19	2,2	4,6	49	17	2,1
Calcítico 100%	0-10	5,3	74	0	4,4	5,8	83	0	5,5
	0-20	5,0	63	3	3,7	5,2	72	0	4,4
Calcítico 75:25% dolomítico	0-10	5,4	73	0	3,8	5,7	82	0	4,3
	0-20	5,0	62	4	2,9	5,2	67	5	3,0
Calcítico 50:50% dolomítico	0-10	5,4	78	1	3,1	5,7	81	0	3,5
	0-20	5,0	64	6	2,8	5,3	72	2	2,6
Calcítico 25:75% dolomítico	0-10	5,4	73	0	2,6	5,8	83	0	2,6
	0-20	5,0	61	7	2,4	5,3	79	0	2,2
Dolomítico 100%	0-10	5,0	73	2	1,9	5,7	84	0	1,9
	0-20	4,9	64	5	1,8	5,2	69	4	1,6

* Saturação por bases calculada em função da CTC_{pH 7,0}.

** Saturação por alumínio calculada em função da CTC efetiva.

Tabela 7 – pH, saturação por bases, saturação por alumínio e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico - São Gabriel.

Tratamentos	Prof.	Superficial				Incorporado			
		pH	V*	Al**	Ca/Mg	pH	V	Al	Ca/Mg
			--- %	---			--- %	---	
Testemunha	0-10	4,5	54	10	2,4	4,6	61	5	2,7
	0-20	4,5	49	13	2,5	4,6	63	7	2,7
Calcítico 100%	0-10	5,6	79	1	4,7	5,8	84	0	4,2
	0-20	5,1	74	0	3,9	5,4	77	0	3,7
Calcítico 75:25% dolomítico	0-10	5,4	79	0	3,9	5,6	80	0	3,1
	0-20	5,2	76	0	3,5	5,2	76	0	3,1
Calcítico 50:50% dolomítico	0-10	5,4	75	0	2,9	5,9	86	0	3,2
	0-20	5,1	70	3	2,8	5,2	75	1	3,3
Calcítico 25:75% dolomítico	0-10	5,3	78	0	2,4	5,6	80	1	2,3
	0-20	5,0	69	2	2,5	5,3	75	1	2,4
Dolomítico 100%	0-10	5,2	77	0	1,9	5,5	81	0	1,9
	0-20	5,0	74	1	2,0	5,2	70	0	2,0

* Saturação por bases calculada em função da $CTC_{pH\ 7,0}$.

** Saturação por alumínio calculada em função da CTC efetiva.

Com relação aos modos de aplicação do corretivo, não foi verificada diferença na produção de aveia preta para todos os locais avaliados (Tabela 3). Da mesma forma, não foram observadas diferenças para os experimentos de Santa Maria, Santo Ângelo e Cruz Alta na cultura da soja. Entretanto, no experimento de São Gabriel a aplicação superficial apresentou rendimentos de soja superiores aos observados para a aplicação incorporada (Tabela 3), porém, este resultado deve ser visto com restrições, devido a baixa produtividade observada neste local, influenciada pela estiagem.

Os resultados obtidos para a cultura da aveia e da soja, com exceção do experimento de São Gabriel para a cultura da soja, estão de acordo com os obtidos por Pottker (2000) que, ao testar diferentes doses de calcário aplicado em superfície e incorporado não verificou diferenças entre as duas formas de aplicação. Da mesma forma, Kaminski et al. (2000) não observaram diferenças na produtividade de milho entre aplicação na superfície e incorporada logo após a aplicação dos corretivos, no entanto, após 24 meses a aplicação superficial produziu mais do que a incorporada.

A aplicação dos calcários reduziu consideravelmente a saturação por Al nas camadas de 0-10 cm e 0-20 cm, sendo que, as maiores reduções ocorreram nas parcelas em que os corretivos foram aplicados na forma incorporada. Entretanto, mesmo após 12 meses da aplicação dos corretivos, ainda se observa a presença de alumínio nestas camadas, porém, com valores inferiores a 10% nos experimentos de Santo Ângelo e São Gabriel. Nos experimentos de Santa Maria e Cruz Alta, em alguns casos, ainda são observados valores acima de 10% na camada de 0-20 cm quando o calcário foi aplicado na superfície, deixando evidente que, a baixa mobilidade do calcário, determina que, mesmo após um ano da aplicação do calcário as culturas estarão sujeitas aos efeitos deletérios da presença de saturações por Al superiores a 10%.

5.2 Concentração de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg no tecido vegetal da soja e da aveia preta

As concentrações de Ca e de Mg no tecido vegetal da soja e de aveia preta não foram influenciadas pela variação nas concentrações destes cátions no solo, nem tampouco houve influência da aplicação dos calcários de diferentes relações Ca/Mg nos quatro locais avaliados (Tabelas 8 e 9). A não significância entre os tratamentos indica que, embora a saturação por estes cátions no solo tenha sido aumentada pela aplicação dos calcários (Tabelas 4, 5, 6 e 7), as saturações originais observadas nas parcelas testemunhas foram suficientes para proporcionar um suprimento adequado e assegurar uma absorção satisfatória para estas culturas. Os teores de Ca e de Mg observados no tecido destas culturas então dentro dos níveis considerados normais para estas culturas conforme as faixas estabelecidas pela CQFS RS/SC (2004) e por Malavolta (2006).

Resultados semelhantes foram obtidos por Caires et al. (2006) que, não observaram alterações nas concentrações de Ca no tecido vegetal de soja e milho pela calagem. Entretanto, estes resultados não estão de acordo com obtidos por Key et al. (1961); Grove & Sumner (1985); Oliveira (1993); Munhoz Hernandez & Silveira (1998); Moreira, et al. (1999) e Gomes et al. (2002) que observaram alterações significativas nas concentrações de Ca e Mg no tecido de diversas culturas, quando submetidas a diferentes relações Ca/Mg. Cabe ressaltar que, os efeitos observados pelos autores acima citados foram obtidos em condições de casa de vegetação, com plantas em estádios iniciais de desenvolvimento. Portanto, se considerarmos que as marchas de absorção para o Ca e para o Mg tem um comportamento diferente, sendo o Ca absorvido com maior intensidade no início do desenvolvimento e a absorção de Mg é lenta e contínua durante todo o ciclo da planta Malavolta (2006), é de se esperar que as concentrações de Ca sejam maiores no tecido em relação às de Mg, e conseqüentemente a relação Ca/Mg seja também maior nestes estádios. Neste caso, este aspecto pode estar associado às respostas verificadas pelos autores acima citados, quando testaram diferentes relações Ca/Mg.

Tabela 8 - Teores de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg no tecido vegetal da soja (safra 2004/05) em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em diferentes solos do RS.

Tratamento	Sup.	Inc	Sup.	Inc	Sup.	Inc
	Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		Ca/Mg	
Santo Ângelo						
Testemunha	13,4	13,1	6,6	6,2	2,0	2,1
Calcítico 100%	13,8	13,7	6,5	6,1	2,1	2,2
Calcítico 75:25 dolomítico	13,7	13,1	6,9	6,4	2,0	2,0
Calcítico 50:50 dolomítico	13,1	12,2	6,6	5,6	2,0	2,2
Calcítico 25:75 dolomítico	12,4	13,8	6,6	6,4	1,9	2,1
Dolomítico 100%	11,6	12,6	6,5	5,9	1,8	2,1
Cruz Alta						
Testemunha	9,0	9,0	5,0	4,7	1,8	1,9
Calcítico 100%	9,4	9,6	4,5	4,4	2,1	2,2
Calcítico 75:25 dolomítico	9,9	9,7	4,2	4,3	2,3	2,2
Calcítico 50:50 dolomítico	9,9	9,5	5,0	4,6	2,0	2,1
Calcítico 25:75 dolomítico	9,5	9,5	5,2	4,9	1,8	1,9
Dolomítico 100%	9,1	9,0	5,2	4,8	1,7	1,9
São Gabriel						
Testemunha	11,7	11,6	5,7	5,6	2,0	2,1
Calcítico 100%	12,2	11,8	5,2	5,7	2,3	2,1
Calcítico 75:25 dolomítico	11,7	12,0	5,5	5,6	2,1	2,1
Calcítico 50:50 dolomítico	12,1	11,7	5,5	5,6	2,2	2,1
Calcítico 25:75 dolomítico	11,8	11,2	5,4	5,3	2,2	2,1
Dolomítico 100%	11,5	11,8	5,4	5,8	2,1	2,0

Tabela 9 - Teores de cálcio e de magnésio e relações Ca/Mg quantitativas no tecido vegetal da aveia preta (inverno de 2005) em função da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em diferentes solos do RS.

Tratamento	Sup.	Inc	Sup.	Inc	Sup.	Inc
	Ca (g kg ⁻¹)		Mg (g kg ⁻¹)		Ca/Mg	
Santa Maria						
Testemunha	5,9	5,9	2,1	2,1	2,8	2,8
Calcítico 100%	7,8	8,5	2,2	1,9	3,5	4,5
Calcítico 75:25 dolomítico	6,8	7,2	2,5	2,2	2,7	3,3
Calcítico 50:50 dolomítico	6,7	6,7	2,3	2,1	2,9	3,2
Calcítico 25:75 dolomítico	6,6	8,3	2,2	1,9	3,0	4,4
Dolomítico 100%	6,0	6,7	2,2	2,4	2,7	2,8
Santo Ângelo						
Testemunha	6,1	6,0	3,1	3,1	1,9	1,9
Calcítico 100%	6,8	6,9	3,0	3,1	2,3	2,2
Calcítico 75:25 dolomítico	6,4	6,9	3,1	3,2	2,1	2,1
Calcítico 50:50 dolomítico	6,3	6,6	3,0	3,2	2,1	2,0
Calcítico 25:75 dolomítico	6,0	6,5	3,1	3,3	1,9	1,9
Dolomítico 100%	6,3	7,6	3,2	4,0	1,9	1,9
Cruz Alta						
Testemunha	6,9	7,0	3,6	3,2	1,9	2,2
Calcítico 100%	7,2	6,8	3,3	2,9	2,2	2,3
Calcítico 75:25 dolomítico	7,0	6,4	4,0	3,1	1,7	2,1
Calcítico 50:50 dolomítico	6,7	5,3	3,4	3,1	2,0	1,7
Calcítico 25:75 dolomítico	6,5	6,8	3,3	3,3	2,0	2,1
Dolomítico 100%	6,6	6,9	3,3	3,3	2,0	2,1
São Gabriel						
Testemunha	4,8	5,1	2,7	2,8	1,8	1,8
Calcítico 100%	5,6	6,7	2,9	3,5	1,9	1,9
Calcítico 75:25 dolomítico	5,7	6,0	3,0	3,2	1,9	1,9
Calcítico 50:50 dolomítico	5,7	5,9	2,9	3,2	1,9	1,8
Calcítico 25:75 dolomítico	6,6	5,5	3,1	3,0	2,1	1,8
Dolomítico 100%	4,9	6,0	2,8	3,3	1,7	1,8

Embora seja verificada uma pequena variação nas concentrações de Ca e de Mg entre as diferentes espécies e em alguns casos entre experimentos, as concentrações no tecido da soja e da aveia preta dentro de cada experimento, mantiveram-se relativamente constantes, o que manteve as relações Ca/Mg praticamente iguais em todos os experimentos, situando-se, em torno de 2,0 (Tabelas 8 e 9). Isto sugere que, embora a disponibilidade destes cátions no solo tenha sido influenciada pela aplicação de calcário, ocorre uma regulação na entrada de Ca e Mg pela membrana plasmática e a manutenção das concentrações destes elementos na célula. Segundo Taiz & Zieger (2004) a necessidade de regular as concentrações de Ca e Mg nas organelas celulares esta associada às funções desempenhadas por estes cátions, principalmente por atuarem como ativadores enzimáticos e nas transduções de sinais, interferindo em diversos eventos metabólicos da célula.

A aplicação dos calcários alterou as relações no solo, em relação à testemunha, principalmente nos tratamentos com maiores proporções de calcário calcítico (Tabelas 4, 5, 6 e 7), entretanto, a manutenção de concentrações de Ca e Mg e relações Ca/Mg semelhantes no tecido (Tabelas 8 e 9) indicam que não há uma correspondente com as relações Ca/Mg observadas no solo. Nos tratamentos calcítico 100%, calcítico 75:25% a relação Ca/Mg no solo foi em torno 2,0 vezes superior a observada no tecido das culturas para a aplicação em superfície e em torno de 1,5 a 2,3 vezes na aplicação incorporada para as camadas de 0-10 cm e 0-20 cm respectivamente. Para os tratamentos calcítico 50:50% dolomítico, calcítico 25:75% dolomítico e dolomítico 100% a relação Ca/Mg no solo foi semelhante a observada no tecido da aveia preta e da soja (Tabelas 4, 5, 6 e 7). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Oliveira & Parra (2003) onde relatam que, as relações Ca/Mg no tecido do feijoeiro não mantiveram a mesma proporção das relações observadas no solo. Já Simson et al. (1979) observaram que, a relação Ca/Mg no tecido do milho e alfafa foi 1/3 da relação Ca/Mg encontrada nos sítios de troca.

Para a cultura da soja, observa-se que, os teores encontrados para os experimentos Santo Ângelo e São Gabriel são muito semelhantes, com pouca variação nas duas formas de aplicação dos corretivos. Entretanto, para o experimento de Cruz Alta, observa-se que os teores tanto de Ca como de Mg são inferiores aos teores observados nos experimentos Santo Ângelo e São Gabriel

(Tabela 8). Isto provavelmente está associado com a diferente necessidade de Ca e de Mg entre variedades de soja.

Para a cultura da aveia, as concentrações de Ca e de Mg seguem um comportamento semelhante ao já relatado para a soja, em função dos tratamentos aplicados. No entanto, se observa que, embora muito semelhantes entre experimentos, as concentrações são menores do que as observadas para a cultura da soja, indicando uma maior necessidade destes cátions para atender suas necessidades fisiológicas em relação à cultura da aveia (Tabelas 8 e 9), concordando com Loneragan & Snowball (1969) de que espécies dicotiledôneas normalmente apresentam maiores conteúdos de cátions divalentes no tecido vegetal, quando comparado a espécies monocotiledôneas.

A capacidade de regular as concentrações internas destes elementos na célula através da absorção por mecanismos distintos para estes cátions pressupõe que a relação Ca/Mg tem pouca importância neste processo. Este fato, aliado aos estudos sobre a seletividade da membrana plasmática na absorção de elementos minerais e a regulação das concentrações internas das células, sugere que a absorção do Ca e do Mg ocorram em locais distintos, mesmo sendo absorvidos de forma passiva, através de canais sob concentrações elevadas (Taiz & Zeiger, 2004).

Neste caso, em relação ao suprimento de Ca e de Mg, dificilmente haverá a ocorrência de efeitos depressivos no rendimento das plantas devido as diferentes relações Ca/Mg no solo, a não ser que, o corretivo utilizado não seja eficiente em suprir quantidades suficientes destes cátions ao ponto de ocorrer uma deficiência do elemento no solo, o que dificilmente ocorrerá em condições de campo, principalmente porque a composição dos calcários normalmente utilizados fornecem grandes quantidades de Ca e de Mg. Contudo, como o principal critério para realizar a calagem é a elevação do pH e neutralização do Al, a manutenção de teores suficientes de Ca e de Mg ao desenvolvimento das plantas recebe menor atenção, principalmente porque quantidades expressivas são fornecidas pelo corretivo.

5.3 Efeitos no solo de proporções de calcário calcítico e dolomítico

5.3.1 Correção da acidez

A aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico foi eficiente na elevação de pH somente na camada de 0-5 cm na aplicação superficial, alcançando valores entre 5,3 e 6,0 (Figuras 1A, 2A, 3A e 4A), o que é satisfatório, considerando que, a neutralização do Al trocável ocorre nesta faixa. O efeito restrito a camada de 0-5 cm evidencia a baixa mobilidade do calcário no perfil do solo, mesmo após 12 meses a aplicação.

Nas camadas de 5-10, 10-15 e 15-20 cm, os valores de pH mantiveram-se semelhantes ou até iguais aos obtidos para a testemunha nos experimentos de Santo Ângelo, São Gabriel e Santa Maria, com exceção do experimento de Cruz Alta, onde houve um maior efeito na elevação do pH nestas profundidades (Figuras 1A, 2A, 3A e 4A), porém, do ponto de vista agrônômico, insuficiente para proporcionar um ambiente adequado ao desenvolvimento das plantas.

A baixa mobilidade e eficiência da calagem nas camadas subsuperficiais também tem sido observada por Caires et al. (1998); Rheinheimer et al. (2000); Franchini et al. (2001); Moreira et al. (2001); Kaminski et al. (2005) e Caires et al. (2006) após longos períodos após a aplicação dos corretivos.

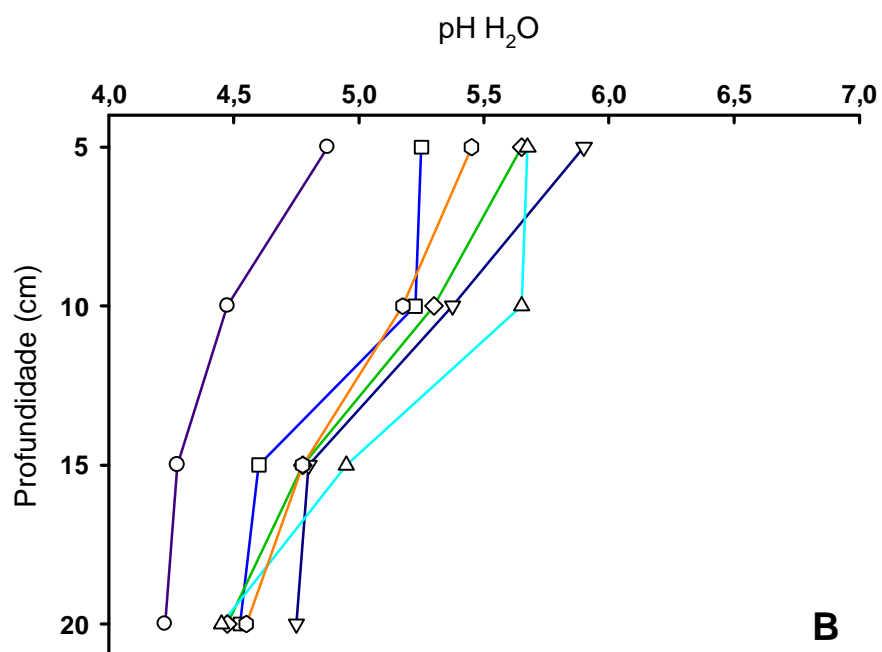
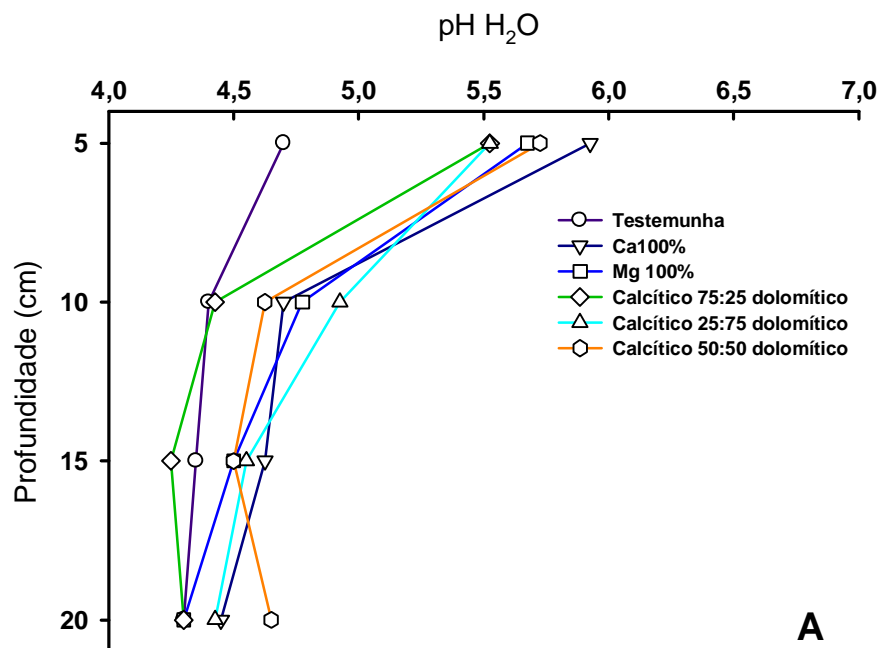


Figura 1: pH em H₂O em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Cruz Alta) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

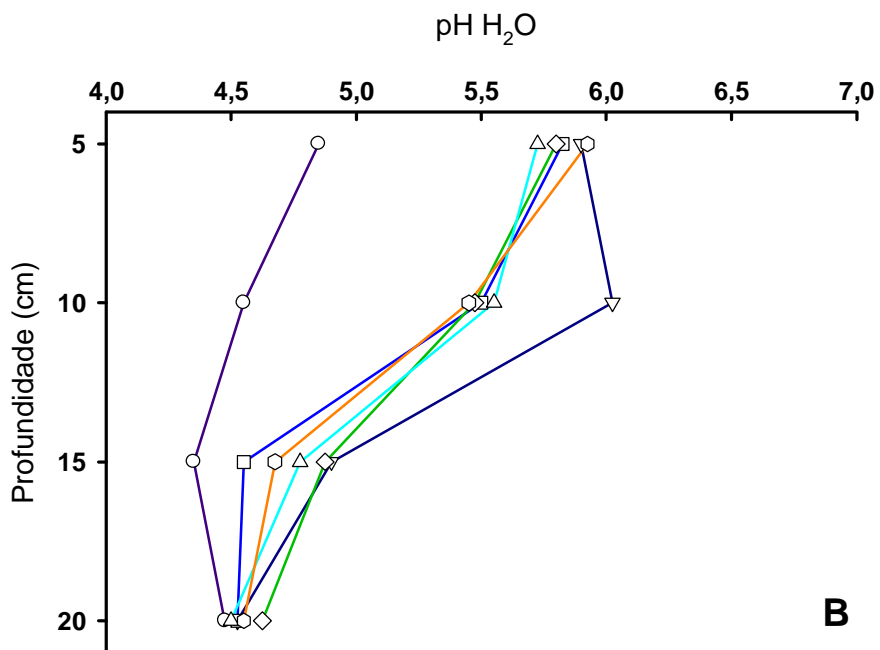
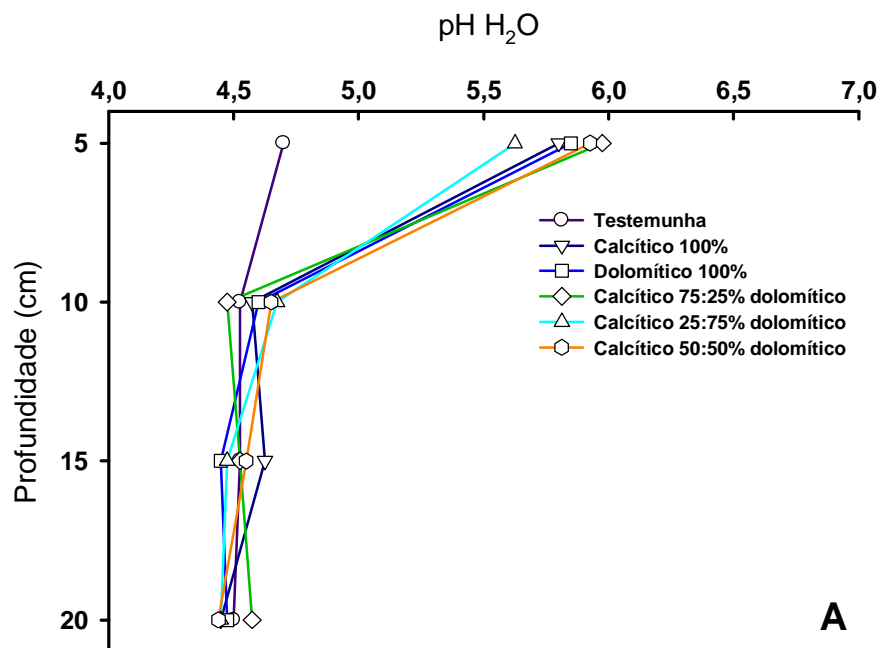


Figura 2: pH em H_2O em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Santo Ângelo) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

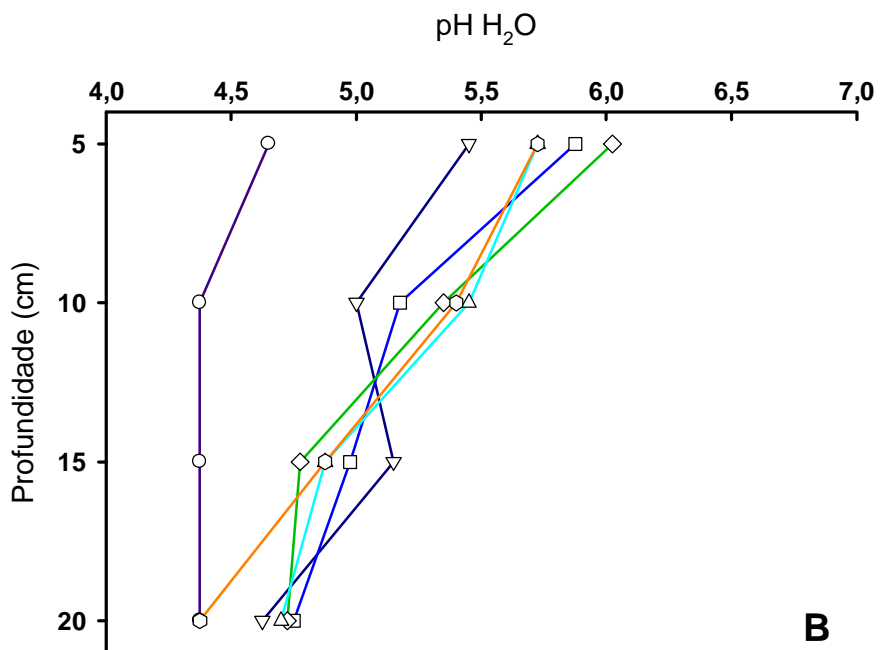
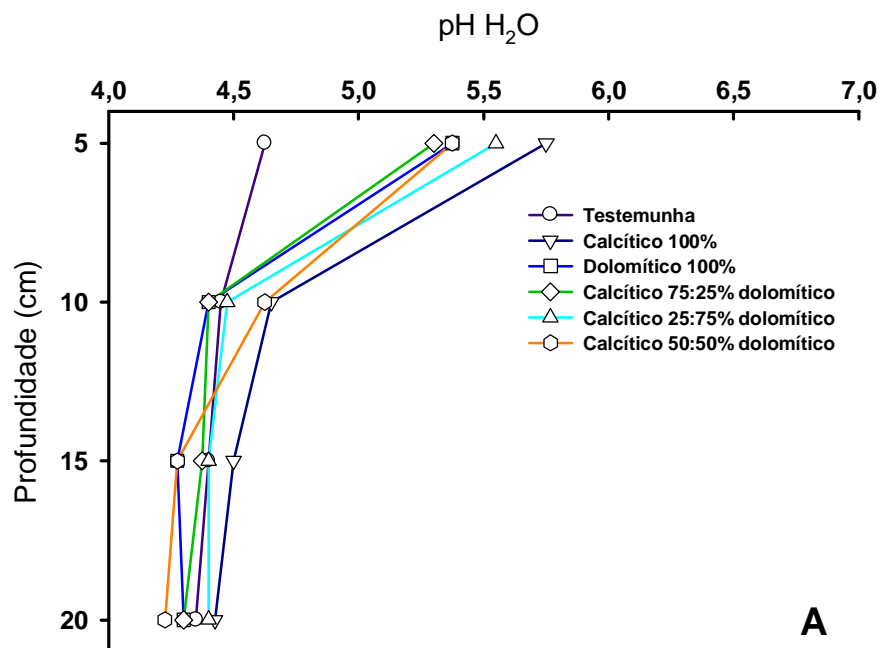


Figura 3: pH em H₂O em um Latossolo Vermelho distrófico arênico (Santa Maria) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

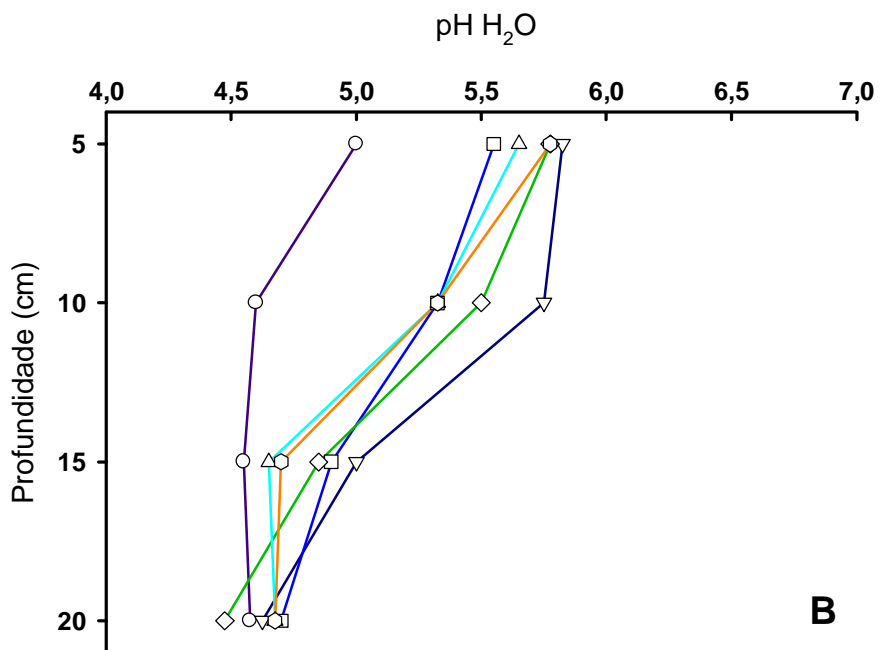
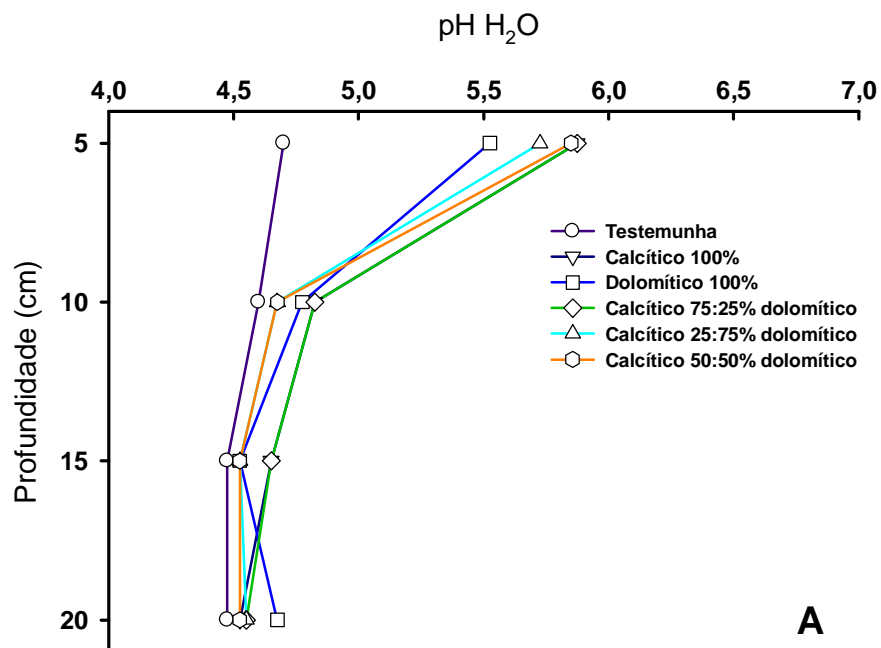


Figura 4: pH em H₂O em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico (São Gabriel) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

Conforme Franchini et al. (2001) e Caires et al. (2006), a aplicação superficial de calcário não tem efeito rápido na redução da acidez nas camadas subsuperficiais, porque que depende da lixiviação de sais orgânicos ou inorgânicos no perfil do solo. Citam ainda que, a decida do calcário é facilitada pela formação de complexos organometálicos hidrossolúveis com ácidos orgânicos de baixo peso molecular, originados da decomposição dos resíduos vegetais mantidos como cobertura do solo. A baixa eficiência na correção da acidez nas camadas subsuperficiais tem sido apontada como uma das limitações da aplicação superficial do calcário em solos ácidos brasileiros, podendo causar restrições ao crescimento radicular nas camadas subsuperficiais de solos com baixos teores de Ca e Mg e presença de Al, ou ainda pode ser atribuída à falta de um ânion estável na dissolução do calcário, às cargas negativas dependentes de pH e à presença concomitante de cátions ácidos (H, Al, Fe e Mn) (Pavan & Oliveira, 2000).

Na aplicação incorporada do corretivo, precedendo o sistema plantio direto, se observou maiores alterações no aumento do pH em relação à aplicação superficial nas camadas subsuperficiais do solo (Figuras 1B, 2B, 3B e 4B). No entanto, a incorporação proporcionou aumentos satisfatórios de pH somente até a camada de 5-10 cm, mantendo o pH acima de 5,5. A menor eficiência dos tratamentos com incorporação foi observada nas camadas de 10-15 cm e 15-20 cm, o mantendo abaixo de 5,2 (Figuras 1B, 2B, 3B e 4B), o que, agronomicamente não é considerado satisfatório, pois a estes valores, ainda pode ser observada a presença de alumínio. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Kaminski et al. (2005), que verificaram maior eficiência nas alterações dos atributos químicos do solo, relacionados com a acidez, quando o calcário foi incorporado em relação à aplicação superficial.

Em relação à neutralização do Al trocável, a aplicação superficial foi eficaz, apenas na camada de 0-5 cm (Figuras 5A, 6A, 7A e 8A). Na medida em que aumenta a profundidade, os teores de alumínio aumentam progressivamente até a camada de 15-20 cm (Figuras 5A, 6A, 7A e 8A) onde atinge saturações de até 57% no experimento de Santa Maria, 29% em São Gabriel e Santo Ângelo e 50% em Cruz Alta (Tabelas 4, 5, 6 e 7). Quando o calcário foi incorporado, a frente de alcalinização foi eficiente em neutralizar o alumínio somente nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm para todos os tratamentos nos quatro locais avaliados (Figuras 5B, 6B, 7B e 8B).

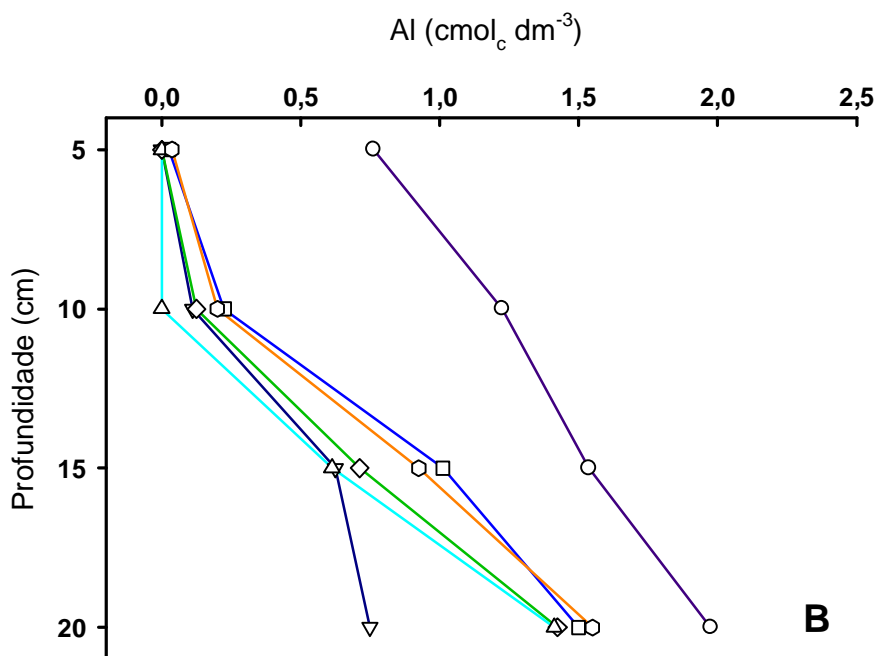
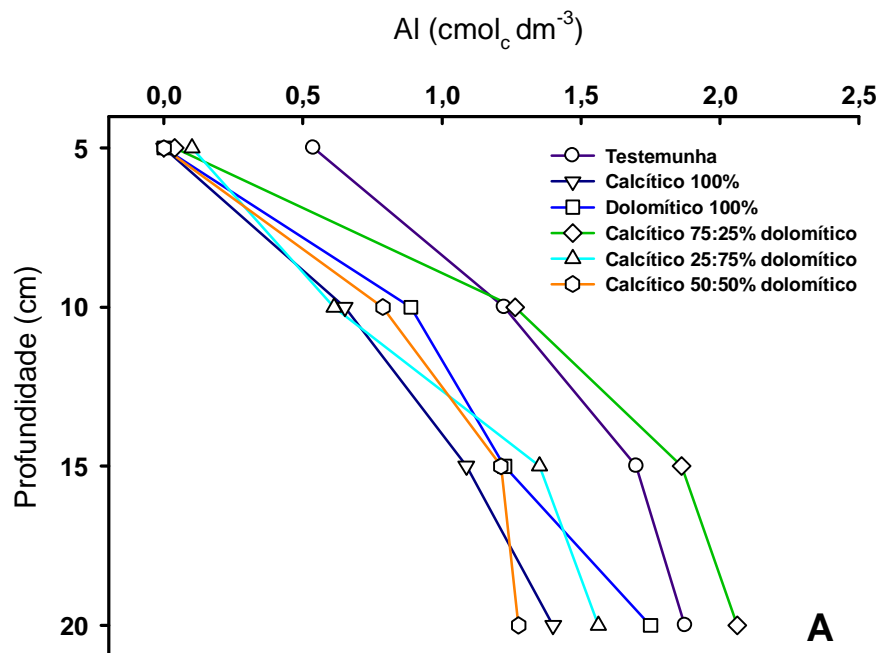


Figura 5: Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico típico (Cruz Alta) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

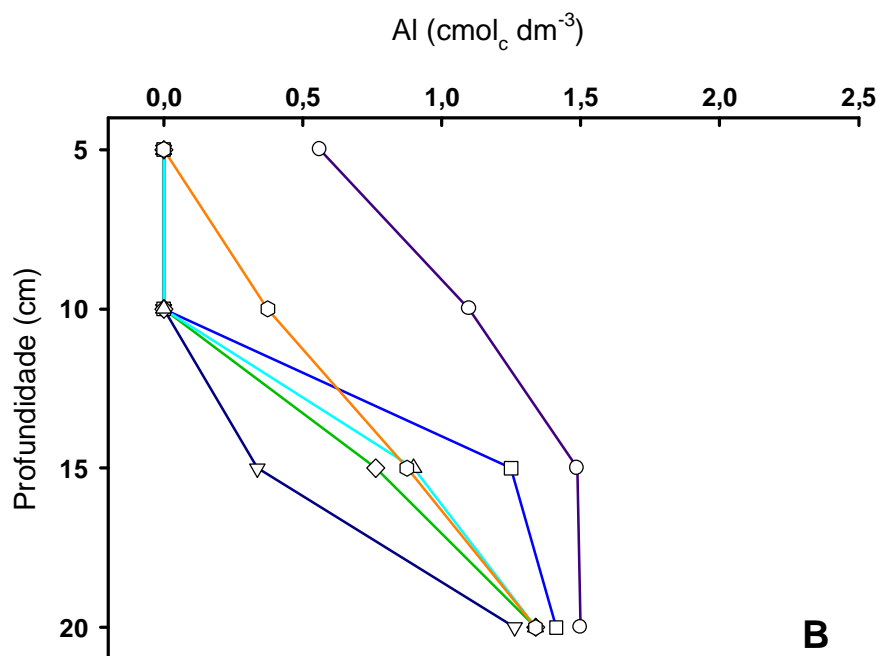
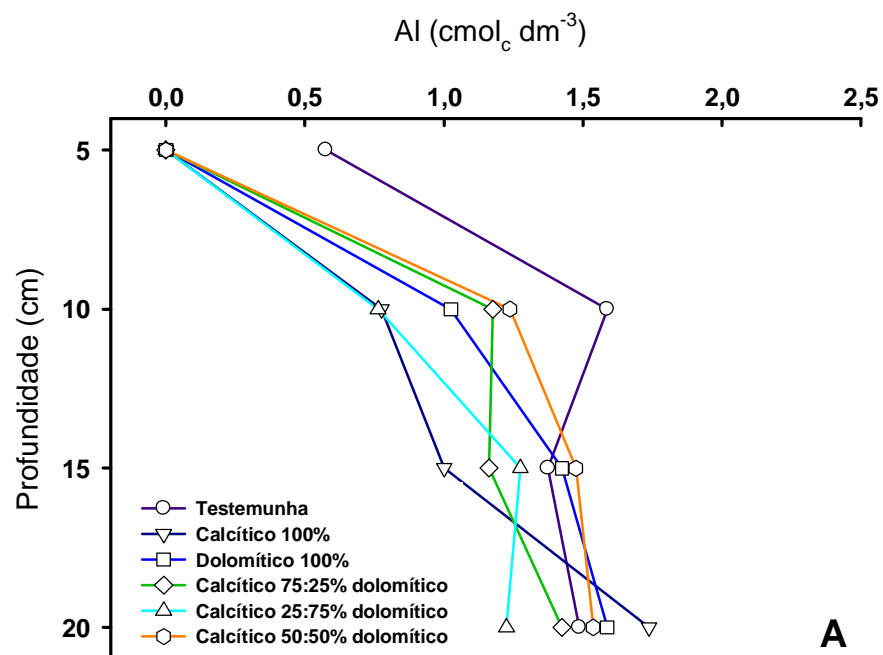


Figura 6: Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distróférrico típico (Santo Ângelo) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

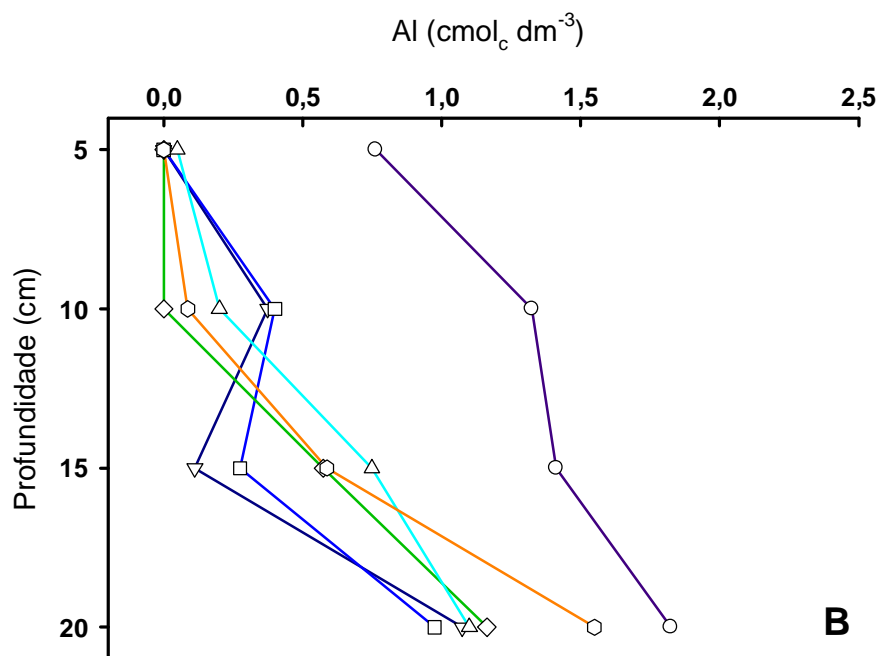
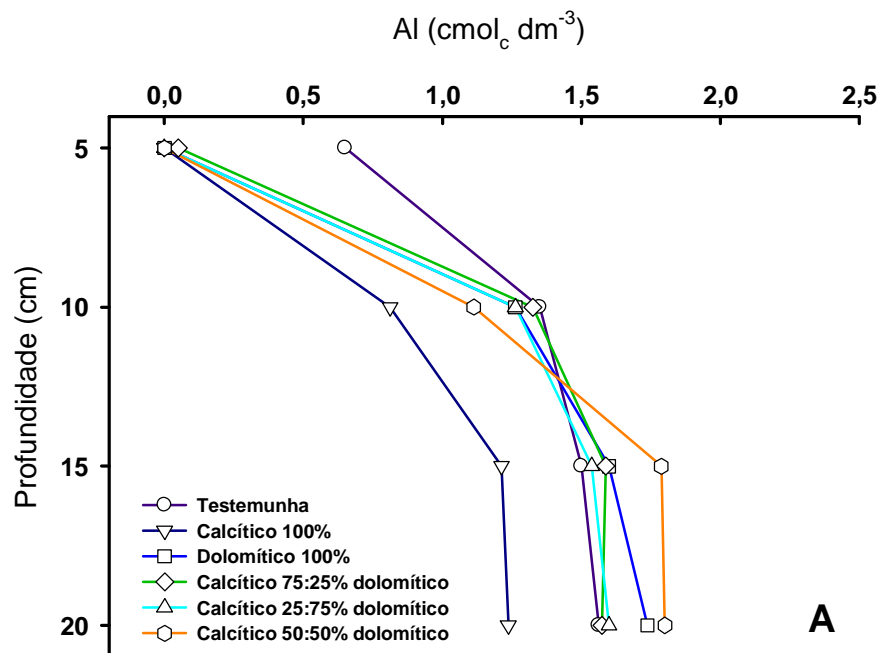


Figura 7: Alumínio trocável em um Latossolo Vermelho distrófico arênico (Santa Maria) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

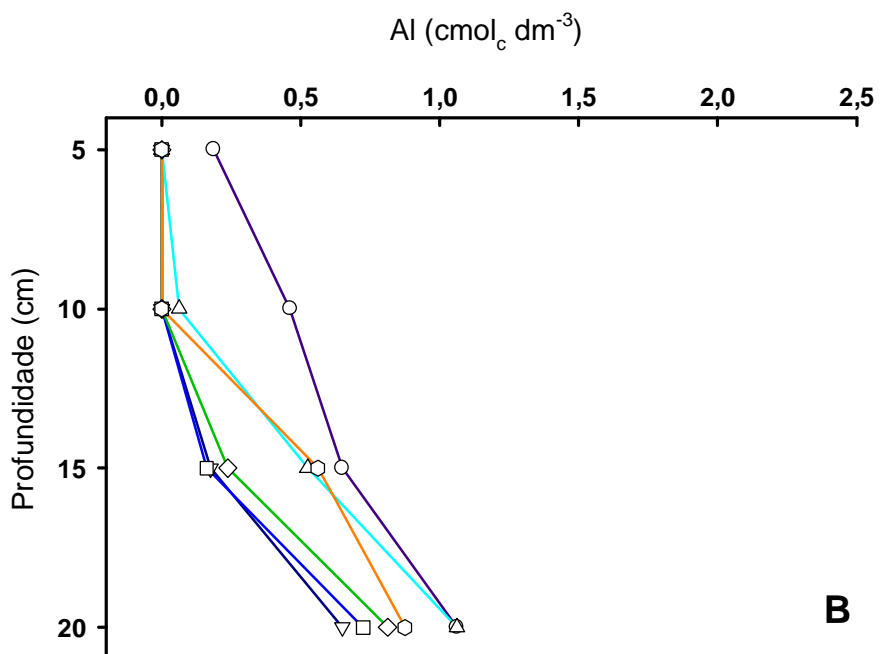
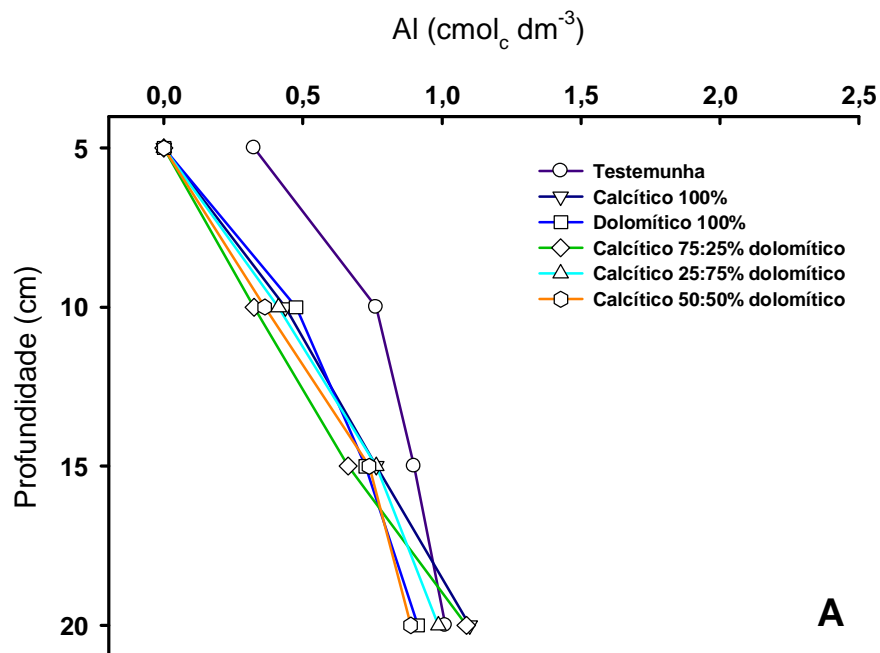


Figura 8: Alumínio trocável em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico (São Gabriel) submetido à aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial (A) e incorporada (B).

Embora se observe que, a calagem não foi eficiente em elevar o pH a valores adequados em profundidade, principalmente, abaixo da camada de 0-5 cm na aplicação superficial e abaixo da camada de 5-10 cm na aplicação incorporada, é possível observar que, houve uma redução nos teores de Al trocável até a camada de 15-20 cm em ambas as formas de aplicação (Figuras 5, 6, 7 e 8), indicando que, ocorreu a migração dos produtos da dissolução do calcário até esta camada, porém, agindo em primeiro lugar na neutralização do Al. Este fato é reforçado pelo aumento dos teores de Ca e de Mg verificados nas camadas subsuperficiais, conforme apresentado no item 4.1.2.

Entre as proporções de calcário, não foi verificada diferença no aumento de pH e neutralização do Al em todas as camadas avaliadas nos quatro locais e em ambas as formas de aplicação. Entretanto, houve diferença dos calcários somente em relação à testemunha (figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8), indicando que, as diferentes proporções de calcário foram igualmente eficientes na correção da acidez do solo no período avaliado.

5.1.2 - Cálcio e magnésio trocáveis

A aplicação dos corretivos aumentou os teores de Ca e de Mg trocáveis de forma coerente com a variação na composição de Ca e Mg dos calcários, conseqüentemente, alterando as relações Ca/Mg no solo em todos os locais, em ambas as formas de aplicação (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Entretanto, as modificações nas relações Ca/Mg não ocorreram na mesma proporção para os tratamentos: calcítico 100%, calcítico 75:25% dolomítico e calcítico 50:50% dolomítico (Tabelas 10,11,12 e 13), conforme os valores calculados (Tabela 2). Por outro lado, de uma maneira geral, os tratamentos: calcítico 25:75% dolomítico e dolomítico 100% mantiveram a mesma relação Ca/Mg no solo em relação a calculada (Tabela 2), mantendo-se em torno de 2,0, muito semelhante a relação Ca/Mg original observada nas testemunhas (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Este fato sugere que, a aplicação de calcários com elevados teores de Mg, mesmo mantendo uma relação Ca/Mg estreita no solo, comparada aos tratamentos com altos teores de cálcio (calcítico 100%, calcítico 75:25% dolomítico) não influenciaram na

disponibilidade de Ca e de Mg, ao ponto de afetar o rendimento das culturas. Entretanto, é de se esperar que, a aplicação continuada de calcários calcíticos, com teores muito baixos de Mg poderia causar um desbalanço entre estes nutrientes no solo, e vir a prejudicar o desenvolvimento e rendimento das plantas por problemas de deficiência de Mg no solo.

Na aplicação superficial dos corretivos, de uma maneira geral, observa-se nos quatro locais avaliados que, a elevação dos teores de Ca e Mg, bem como a alteração das relações Ca/Mg no solo, ocorreu de maneira mais expressiva na camada de 0-5 cm, após 12 meses a aplicação (Tabelas 10, 11, 12 e 13), devido a baixa mobilidade do calcário para as camadas subsuperficiais, causando o acúmulo do corretivo na superfície do solo.

Quando se compara os teores de Ca e Mg entre as formas de aplicação na camada de 0-5 cm, de uma maneira geral, são observados teores mais elevados nas parcelas onde a aplicação foi realizada na superfície, no entanto, a diferença em relação à aplicação incorporada é pequena (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Isto sugere que, mesmo ocorrendo o acúmulo do calcário na camada superficial por ocasião da aplicação superficial do solo, a cinética das reações de dissolução dos carbonatos não proporcionou variações expressivas dos teores de Ca e Mg nesta camada, o que pode estar relacionado com uma liberação gradual destes cátions para o solo, devido ao equilíbrio alcançado pelas reações de dissolução. Por outro lado, o fato de ocorrer uma distribuição da quantidade de calcário aplicado por ocasião da incorporação, e de se esperar que, deveria haver uma redução dos teores, devido ao efeito de diluição do corretivo na camada de solo mobilizada, entretanto, os teores de Ca e de Mg mantiveram-se elevados e semelhantes aos observados na aplicação em superfície.

Tabela 10 - Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico arênico - Santa Maria.

Trat.	Prof.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.
		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)		Ca/Mg	
Test.	0-5	1,96	2,29	1,23	0,83	1,6	2,7
	5-10	1,16	1,59	0,74	0,84	1,7	1,9
	10-15	1,03	1,19	0,63	0,75	1,6	1,6
	15-20	1,06	0,99	0,58	0,68	1,8	1,4
Calcítico 100%	0-5	6,78	4,69	1,30	0,97	5,2	4,9
	5-10	2,22	3,44	1,03	0,81	2,2	4,3
	10-15	1,55	4,31	0,85	0,76	1,8	5,9
	15-20	1,36	2,93	0,79	0,59	1,7	5,0
Calcítico 75:25% Dolomítico	0-5	4,91	5,71	1,42	1,19	3,5	4,8
	5-10	1,14	4,77	0,73	1,13	1,6	4,2
	10-15	0,91	3,17	0,67	0,95	1,3	3,3
	15-20	0,90	1,77	0,55	0,73	1,7	2,6
Calcítico 50:50% Dolomítico	0-5	4,89	4,65	1,58	1,52	3,1	3,1
	5-10	1,99	4,00	0,87	1,36	2,2	3,0
	10-15	0,78	2,56	0,61	1,05	1,4	2,5
	15-20	0,81	1,23	0,58	0,67	1,4	1,8
Calcítico 25:75% Dolomítico	0-5	5,43	4,62	2,13	1,73	2,5	2,7
	5-10	1,36	3,91	0,87	1,76	1,6	2,2
	10-15	1,05	2,53	0,71	1,19	1,5	2,1
	15-20	1,09	2,03	0,69	1,05	1,5	1,9
Dolomítico 100%	0-5	4,55	4,45	2,33	2,13	1,9	2,1
	5-10	1,12	3,96	0,87	2,02	1,3	2,0
	10-15	0,88	2,71	0,69	1,61	1,3	1,7
	15-20	0,86	2,20	0,59	1,14	1,5	1,8

Tabela 11 - Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico - Cruz Alta.

Trat.	Prof.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.
		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)		Ca/Mg	
Test.	0-5	4,51	4,33	1,96	1,72	2,4	2,5
	5-10	2,60	3,43	1,46	1,38	1,8	2,5
	10-15	2,34	2,20	1,23	1,06	1,9	2,1
	15-20	1,79	1,58	1,08	0,89	1,7	1,8
Calcítico 100%	0-5	9,96	8,90	1,90	1,79	5,3	5,4
	5-10	3,71	7,62	1,52	1,54	2,4	5,0
	10-15	2,89	4,50	1,49	1,48	2,0	3,2
	15-20	2,38	4,59	1,31	1,51	1,9	3,2
Calcítico 75:25% Dolomítico	0-5	8,82	7,70	1,91	2,07	4,7	3,8
	5-10	2,96	6,71	1,11	1,87	2,7	3,6
	10-15	1,79	4,19	0,89	1,70	2,0	2,5
	15-20	1,38	2,36	0,74	1,29	1,9	1,9
Calcítico 50:50% Dolomítico	0-5	8,57	6,08	2,57	2,39	3,3	2,6
	5-10	3,73	5,94	1,78	2,38	2,2	2,7
	10-15	2,62	3,42	1,45	1,72	1,9	2,1
	15-20	2,89	2,21	1,41	1,24	2,0	1,9
Calcítico 25:75% Dolomítico	0-5	7,16	7,40	3,02	2,69	2,4	2,8
	5-10	4,53	7,71	2,19	2,76	2,0	2,9
	10-15	2,63	4,83	1,46	2,09	1,8	2,3
	15-20	1,96	2,43	1,17	1,36	1,7	1,7
Dolomítico 100%	0-5	7,62	5,09	3,76	2,97	2,0	1,7
	5-10	3,77	5,33	2,05	3,00	1,8	1,8
	10-15	2,74	4,41	1,56	2,15	1,8	2,2
	15-20	1,85	2,11	1,09	1,44	1,7	1,5

Tabela 12 - Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distróférrico típico - Santo Ângelo.

Trat.	Prof.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.
		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)		Ca/Mg	
Test.	0-5	4,31	4,28	1,98	2,01	2,2	2,1
	5-10	3,02	3,87	1,52	1,73	2,0	2,3
	10-15	2,89	2,97	1,38	1,48	2,1	2,0
	15-20	2,79	2,87	1,39	1,47	2,0	1,9
Calcítico 100%	0-5	9,94	9,26	1,59	1,70	6,4	5,5
	5-10	3,65	10,50	1,35	1,67	2,7	6,5
	10-15	3,14	5,66	1,33	1,35	2,4	4,2
	15-20	3,03	3,31	1,28	1,36	2,4	2,5
Calcítico 75:25% Dolomítico	0-5	9,73	9,78	2,03	2,09	4,8	4,7
	5-10	3,45	7,78	1,39	1,93	2,5	4,0
	10-15	3,21	4,02	1,36	1,55	2,4	2,6
	15-20	2,97	3,26	1,37	1,52	2,2	2,1
Calcítico 50:50% Dolomítico	0-5	9,52	8,65	2,48	2,57	3,8	3,4
	5-10	3,50	7,34	1,53	2,22	2,3	3,3
	10-15	3,06	4,26	1,47	1,75	2,1	2,4
	15-20	2,95	3,46	1,30	1,67	2,3	2,1
Calcítico 25:75% Dolomítico	0-5	8,40	8,21	2,95	3,08	2,9	2,7
	5-10	4,33	7,80	1,69	3,07	2,6	2,5
	10-15	3,35	3,76	1,56	1,81	2,2	2,1
	15-20	3,06	3,06	1,46	1,38	2,1	2,2
Dolomítico 100%	0-5	6,82	6,95	3,64	3,82	1,9	1,8
	5-10	3,13	6,84	1,62	3,78	1,9	1,8
	10-15	2,87	3,20	1,36	1,73	2,1	1,8
	15-20	2,64	2,76	1,35	1,49	2,0	1,9

Tabela 13 - Teores de cálcio e de magnésio trocáveis e relações Ca/Mg após 12 meses da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico latossólico - São Gabriel.

Trat.	Prof.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.	Superf.	Incorp.
		Ca (cmol _c dm ⁻³)		Mg (cmol _c dm ⁻³)		Ca/Mg	
Test.	0-5	5,13	5,22	2,28	2,10	2,3	2,5
	5-10	3,88	4,46	1,47	1,72	2,6	2,6
	10-15	3,73	4,04	1,39	1,44	2,7	2,8
	15-20	2,69	3,59	0,99	1,33	2,5	2,7
Calcítico 100%	0-5	9,58	9,07	1,91	2,14	5,0	4,3
	5-10	5,40	8,55	1,59	1,91	3,4	4,5
	10-15	4,21	5,97	1,34	1,73	3,1	3,4
	15-20	3,57	4,16	1,24	1,42	2,9	2,9
Calcítico 75:25% Dolomítico	0-5	9,40	8,41	2,15	2,63	4,4	3,3
	5-10	5,48	7,56	1,71	2,47	3,2	3,2
	10-15	3,99	5,26	1,34	1,87	3,0	2,8
	15-20	3,28	3,85	1,20	1,53	2,7	2,5
Calcítico 50:50% Dolomítico	0-5	9,24	8,14	2,54	2,44	3,6	3,3
	5-10	4,63	7,29	1,73	2,39	2,7	3,1
	10-15	4,12	4,66	1,40	1,70	2,9	2,7
	15-20	3,65	3,64	1,36	1,39	2,7	2,6
Calcítico 25:75% Dolomítico	0-5	7,66	6,98	2,92	3,02	2,6	2,3
	5-10	4,39	6,63	1,77	2,75	2,5	2,4
	10-15	3,92	4,31	1,43	1,81	2,7	2,4
	15-20	3,42	3,65	1,29	1,39	2,7	2,7
Dolomítico 100%	0-5	6,88	6,96	3,46	3,30	2,0	2,1
	5-10	4,48	6,56	2,02	3,26	2,2	2,0
	10-15	3,76	5,15	1,55	2,49	2,4	2,1
	15-20	3,44	3,94	1,42	1,72	2,4	2,3

A alteração dos teores de Mg na aplicação em superfície indica que, embora seja observada uma maior elevação dos teores na camada de 0-5 cm, os tratamentos calcítico 50:50% dolomítico, calcítico 25:75% dolomítico e dolomítico 100% foram eficientes até a camada de 0-10 cm nos experimentos de Santo Ângelo, São Gabriel e Cruz Alta. Porém, no experimento de Santa Maria, observou-se uma elevação dos teores de Mg, somente na camada de 0-5 cm para todos os tratamentos (Tabelas 10, 11, 12 e 13). Quando o corretivo foi aplicado na forma incorporada, a elevação dos teores de Mg ocorreu principalmente na camada de 0-5 e 5-10 cm, no entanto, foram verificados aumentos, porém, menos expressivos até a camada de 15-20 cm, indicando que a incorporação foi eficiente para elevar os teores de Mg a profundidades maiores (Tabelas 10, 11, 12 e 13).

Um aspecto importante de ser ressaltado, é que os solos Santo Ângelo, Cruz Alta e São Gabriel, embora ácidos, apresentavam teores de Ca e Mg relativamente elevados antes da instalação dos experimentos, sendo superiores aos teores de 2,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Ca e 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de Mg, considerados como baixos pelo Manual de Adubação e de Calagem para o RS e SC (CQFS RS/SC, 2004). Isto, possivelmente está relacionado com uma calagem realizada anteriormente, o que evidencia um efeito residual prolongado, mesmo sob cultivo contínuo. Efeitos residuais da calagem superiores a 9 anos são comumente relatados na literatura, no qual são observados, além de pouca reacidificação, elevados teores de Ca e de Mg trocáveis no solo (Kaminski et al. 2000). Ainda, conforme este autor, os elevados rendimentos obtidos em solos que apresentam longos efeitos residuais, principalmente em manter elevados teores de Ca e de Mg dispensam novas aplicações de calcário, mesmo quando a análise de solo indicar a necessidade de correção.

6 CONCLUSÕES

- a) Independente da relação Ca/Mg, os calcários foram igualmente eficientes na elevação do pH e na neutralização do Al trocável somente até 5 cm na aplicação superficial e até 10 cm na aplicação incorporada após 12 meses da aplicação dos corretivos.
- b) O rendimento das culturas não foi influenciado pelas diferentes relações Ca/Mg encontradas no solo após 12 meses da aplicação de diferentes calcários.
- c) Os teores de Ca e de Mg no tecido da soja e da aveia não foram influenciados pelas relações Ca/Mg do solo.
- d) As relações Ca/Mg no tecido da soja e da aveia preta mantiveram-se em torno de 2,0 em todos os locais avaliados.
- e) Os teores de Ca e Mg trocáveis e as relações Ca/Mg no solo variaram de forma coerente com a composição dos calcários, porém não na mesma proporção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, F.; HENDERSON, J. B. Magnesium availability as affected by deficient and adequate levels of potassium and lime. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, v.26, n.1 p.65-68, 1962.

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

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e Legislação de fertilizantes e corretivos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. vol.3. (2003) - Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.292-331.

ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE "ACIDEZ E CALAGEM" REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15, 1983 Campinas. Anais... Campinas;. p.11-22.

AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.36, p.695-702, 2001.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio direto consolidado. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO 2005, Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral V.34 anual 1. ECONOMIA MINERAL – ESTATÍSTICA – BRASIL. 2. MINERAÇÃO. BRASIL, 2005.
<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=66> acessado em 22 de novembro de 2006.

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 mayz* L.)**. 1983. 62p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1983.

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

BARBER, S. A.; OZANNE, P. G. Autoradiographic evidence for the differential effect of four plant species in altering the Ca content of the rhizosphere soil. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v.34, p.635-637. 1970.

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

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

BEAR, F. E.; PRINCE, A. L. Cation equivalent constancy in alfalfa. **J. Am. Soc. Agron.** v.37, p.217-222. 1945.

BEAR, F.E.; TOTH, S. J. Influence of Ca on availability of other soil cations. **Soil Sci.**, v.65, p.69-75, 1948.

BECKER, F. C.; Industrialização de corretivos da acidez dos solos no Rio Grande do Sul. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.115-123.

BRASIL. Instituição Normativa nº 004 de 02/08/2004. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **(Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos corretivos de acidez, corretivos de alcalinidade, corretivos de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura)**. Diário Oficial da União. Brasília, 2004.

CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.30, p.87-98, 2006.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.125-136. 2004.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.275-286. 2003.

CAIRES, E. F.; BANZATO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**. v.24, p.161-169, 2000.

CAIRES, E.F. et al. 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 de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.315-327, 1999.

CAIRES, P. E., CHVEIRI, A. W., MADRUGA, E. F. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivos sem preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p.27-34, 1998.

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**. 1989. 103p. (Tese-de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1989.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

DECHEN, A. R. Deficiência de cálcio e magnésio nos solos e nas plantas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15. 1982, Campinas, (**Acidez e calagem no Brasil**). Campinas: **Soc. Bras. Ci Solo**, 1983. p.87-95.

ECKERT, D. J. Soil test interpretations: Basic cation saturation ratios and sufficiency levels. In: BROWN, J. R. (ed.) **Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration and Interpretation**. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI. 1987. Exner, D., K. Delate, and D. Karlen. 1987. Soil fertility paradigms - cation ratio and sufficiency compare don farm- and on-station. (Special Publication N. 21). <http://www.ars.usda.gov/research/publications> acessado em 17 de outubro de 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionados pelos métodos de aplicação de corretivo da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, v.58, p.825-831, 2001.

FAGERIA, N. K. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001.

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

FOY, C. D.; BARBER, S. A. Magnesium and corn yield in two acid Indiana soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.22, p.145-148, 1958.

FRANCHINI, J. C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização de calcário no solo por método biológico. **Scientia Agrícola**, v.58, p.357-360, 2001.

GARGANTINI, H. Efeitos da granulometria, formas e quantidades de materiais corretivos na acidez do solo. **Bragantia**, v.33, n.9, p.87-96, 1974.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ci. Rural**, v.33, p.282-290, 2003.

GOMES, F. T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio:magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1779-1786, dez. 2002.

GONZALEZ-ERICO, E. et al. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on the oxisol of central Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.** V43, p.1155-1158, 1979.

GROVE, J. H.; SUMMER, M. E. Lime induced magnesium stress in corn: impact and phosphorus availability. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.49, n.5, p.1192-1196, 1985.

HIATT, A. J.; LEGGETT, J. E. Ionic interactions and antagonisms in plant. In: CARSON, e. W. **The plant root and its environment**. 10th ed. Charlottesville, Polytechnic Institute and State University. 1974.

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. **Soil Crop Sci.** v. 21, p-44-50, 1961.

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

JARUSOV, S. S. Mobility of exchangeable cations in the soil. **Soil Sci.** v.43, p.285-303. 1937.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.573-580. 2005.

KAMINSKI, J. et al. Resposta das culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.30, p.605-609. 2000.

KAMINSKI, J.; VOLKWEISS, S. J.; BECKER, F. **Corretivos da acidez do solo**. Anais do II Seminário. Santa Maria: UFSM/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1989. 224 p.

KELLING, K. A.; PETERS. **The advisability of using cation balance as a basis for fertilizer recommendations**. 2004.

<http://www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/2004proceedings/kelling1.pdf>
acessado em 24 de setembro de 2006.

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 Sci.**, v.4, p.265-271, 1962.

KHASAWNEH, F. E. Solution ion activity on plant growth. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.35, n.3, p.426-436, 1971.

LIEBHARDT, W. C. The basic cation saturation ratio concept and lime and potassium recommendations on Delaware's coastal plain soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 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 Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 43, p.1172-1177, 1979.

LONERAGAN, J. F.; SNOWBALL, K. Calcium requirements of plants. **Aust. J. Agric. Res.** v.20, p.465-478. 1979.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. 1991. 15 p. Boletim Técnico; n.1.

LUND, Z. F. The effect of calcium and its relation to several cations in soybean root growth. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** Madison, v. 34, p. 456-459, 1970.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e plantas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1992. 124 p.

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 alfafa. **Soil. Sci. Soc. Am. Proc.**, Madison, v.36, n. 6, p.927-930, 1972.

MELLO, J. W. V. de. **Relações cálcio:magnésio no corretivo da acidez, teor de potássio no solo e seus efeitos sobre o rendimento de matéria seca e absorção de cálcio, magnésio e potássio na aveia e soja.** 1985, 95f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 1985.

MENGEL, D. B.; BARBER, S. A. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. **Agron. J.** v.66, p.399-402. 1974.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiol**, Washington, v.36, n.3, p.290-295, 1961.

MOREIRA, S. G. et al., Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.71-81. 2001.

MOREIRA, A. et al. Efeito da relação cálcio e magnésio do corretivo sobre micronutrientes na alfafa. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.35, n.10, p.2051-2056. out. 2000.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio:magnésio do calcário na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 249-255, fev. 1999.

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

MUNHOZ 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 de milho (*Zea mays* L.). **Sci. Agric.** v. 55, p.79-85, n. 1 Piracicaba-SP, 1998.

MUZILLI, O. Influência do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **R. Bras. Ci. Solo.** v.7, p.75-102, 1983.

NEMETH, K.; MENGEL, K.; GRIMME, H. The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. **Soil Sci.** Baltimore, v.109, p.179-185, 1978.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de latossolos. **R. Bras. Ci. Solo.**v.27, n.5, Viçosa. 2003.

OLIVEIRA, E. L. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.17, p.383-388,1993.

OLOGUNDE, O. O.; SORENSEN, R. C. Influence of concentrations of K and Mg in nutrient solution on sorghum. **Agron. J.**, Madison, v.74, n.1, p.41-46, 1982.

ORLANDO FILHO, J. O. et al. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba-SP, v.14, n.5 p. 13-17, 1996.

PÖTTKER, D. Correção da acidez do solo em lavouras sob plantio direto e campo nativo. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto.** Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.77-94.

PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas nos sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.675-684,1998.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. **Avaliação da Fertilidade do solo.** Piracicaba, Instituto da Potassa-Fosfato (USA) e Instituto Internacional da Potassa. (Suíça), 1981. 142 p.

REHM, G. **Soil cation ratios for crop production**. North Central Extension Publ 533. 1994. <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html> acessado em 17 de outubro de 2006.

REID, W. S. Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trefoil yield. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.27, p.1885-1900. 1996.

RHEINHEIMER, D. S. et al., Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.797-805. 2000.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.1015-1018. 1999.

SILVA, J. E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos sob cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.15, n.3, p.329-333, 1980.

SIMSON, C. R.; COREY, R. B.; SUMNER, M. E. Effect of varying Ca:Mg ratios on yield and composition of corn (*Zea mays*) and alfalfa (*Medicago sativa*). **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** v.10, p.153-162. 1979.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. trad. Eliane Romanato Santarém... [et al.]. - 3.ed.. - Porto Alegre: Artmed, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.95-113.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico; 5).

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: MacMilan Publ., 1985. 754 p.

USHERWOOD, N. R. Interação do potássio com outros íons. In YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N. R. **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. p. 227-248.

VARGAS, R. B.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo.** v.7, p.143-148, 1983.

YOUNG, G. **A Training Manual for Soil Analysis Interpretation in Northern California** -, CPAg, 1999.

<http://users.adelphia.net/~youngg/pdf/A%20Table%20of%20Contents.pdf>

Acessado em 26 de novembro de 2006.

ZIGLIO, C. M.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Formas orgânicas e inorgânicas de mobilização do cálcio no solo. **Braz. Arch. Biol. Tech.**, v.42, p.257-262, 1999.

APÊNDICES

Apêndice A - Análise da variância para a produção de matéria seca de aveia preta do experimento Cruz Alta.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	6409304.2199830	2136434.73999436	2.4577	0.103
Tratamento	5	5306863.2149229	1061372.64298459	1.2210	0.347
Bloco*tratamento	15	13039041.407303	869269.42715354	1.1658	0.374
Sistema	1	538364.16596259	538364.16596259	0.7220	0.407
Tratamento*sistema	5	550742.57580774	110148.51516155	0.1477	0.978
Resíduo	18	13421940.215491	745663.34530509		

Média: 8009.24754417

Raiz Quad. QMres.: 863.51800520

Coef. Variação: 10.78

Apêndice B - Análise da variância para a produção de matéria seca de aveia preta do experimento Santo Ângelo.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	5393387.74928649	1797795.91642883	3.2407	0.052
Tratamento	5	3807056.46269841	761411.29253968	1.3725	0.289
Bloco*tratamento	15	8321305.52782008	554753.70185467	0.4744	0.925
Sistema	1	2317616.10730881	2317616.10730881	1.9820	0.176
Tratamento*sistema	5	6937617.02047407	1387523.40409481	1.1866	0.354
Resíduo	18	21047474.70108747	1169304.15006042		

Média: 5979.32973958

Raiz Quad. QMres: 1081.34367805

Coef. Variação: 18.085

Apêndice C - Análise da variância para a produção de matéria seca de aveia preta do experimento Santa Maria.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	2009379.83174329	669793.27724776	1.0537	0.398
Tratamentos	5	8558861.08044512	1711772.21608902	2.6928	0.063
Bloco*tratamento	15	9535166.25003328	635677.75000222	1.2359	0.331
Sistema	1	161968.03676821	161968.03676821	0.3149	0.582
Tratamento*sistema	5	4292799.80386815	858559.96077363	1.6693	0.193
Resíduo	18	9257926.40946785	514329.24497044		

Média: 6463.73730208

Raiz Quad. QMres.: 717.16751528

Coef. Variação: 11.09

Apêndice D - Análise da variância para a produção de matéria seca de aveia preta do experimento São Gabriel.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	7092050.60881192	2364016.86960397	2.7452	0.080
Tratamentos	5	6661241.37794327	1332248.27558866	1.5471	0.235
Bloco*tratamento	15	12917093.05321354	861139.53688090	0.9620	0.525
Sistema	1	193976.31560038	193976.31560038	0.2167	0.647
Tratamento*sistema	5	2675264.65644337	535052.93128867	0.5977	0.702
Resíduo	18	16113124.42226743	895173.57901486		

Média: 7142.27549375

Raiz Quad. QMres.: 946.13613133

Coef. Variação: 13.50

Apêndice E - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento Santo Ângelo.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	1999279.19175540	666426.39725180	9.1948	0.001 *
Tratamentos	5	909529.90556636	181905.98111327	2.5098	0.077
Bloco*tratamento	15	1087182.94996223	72478.86333082	1.2663	0.313
Sistema	1	7103.94640102	7103.94640102	0.1241	0.729
Tratamento*sistema	5	881889.60655285	176377.92131057	3.0815	0.035 *
Residuo	18	1030286.91745870	57238.16208104		

Média: 2638.30677083

Raiz Quad. QMres.: 239.24498340

Coef. Variacao: 9.07

* Significativo a 5 % de probabilidade

Apêndice F - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento São Gabriel.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	2385906.54541867	795302.18180622	10.1937	0.001 *
Tratamentos	5	470423.58585600	94084.71717120	1.2059	0.353
Bloco*tratamento	15	1170279.82885333	78018.65525689	1.3816	0.254
Sistema	1	503713.05088533	503713.05088533	8.9203	0.008 *
Tratamento*sistema	5	341227.52626667	68245.50525333	1.2086	0.345
Resíduo	18	1016424.35148800	56468.01952711		

Média : 1467.07400000

Raiz Quad. QMres.: 237.63000553

Coef. Variação : 16.20

* Significativo a 5 % de probabilidade

Comparação de médias dos sistemas dentro de tratamentos para a variável rendimento.

Teste "Tukey 5 %"

D	n	prod	grupo
1	24	1569.514333	a
2	24	1364.633667	b

Apêndice G - Análise da variância e comparação de médias para o rendimento de grãos de soja do experimento Santa Maria.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	1251154.40256884	417051.46752295	5.7745	0.008 *
Tratamentos	5	1151721.71755092	230344.34351018	3.1894	0.037 *
Bloco*tratamento	15	1083343.17049092	72222.87803273	0.6370	0.809
Sistema	1	119837.05535208	119837.05535208	1.0569	0.318
Tratamento*sistema	5	110743.10503667	22148.62100733	0.1953	0.960
Residuo	18	2040842.41362716	113380.13409040		

Média: 2861.70733333

Raiz Quad. QMres.: 336.71966692

Coef. Variação: 11.77

* Significativo a 5 % de probabilidade

Comparação de médias dos tratamentos dentro de sistemas para a variável rendimento.

Teste "Tukey 5 %"

Tratamentos	n	Rendimento	Grupo
6	8	3053.103125	a
5	8	2928.368750	a b
3	8	2912.235250	a b
2	8	2867.928000	a b
4	8	2863.593500	a b
1	8	2545.015375	b

Apêndice H - Análise da variância para o rendimento de grãos de soja do experimento Cruz Alta.

Fonte de variação	gl	Soma de quadrados	Quadrado médio	Valor F	PR > F
Bloco	3	1062048.78922375	354016.26307458	1.6930	0.211
Tratamentos	5	1043605.79353517	208721.15870703	0.9982	0.452
Bloco*tratamento	15	3136500.44416100	209100.02961073	1.1546	0.381
Sistema	1	162433.67561008	162433.67561008	0.8969	0.356
Tratamento*sistema	5	147774.76321017	29554.95264203	0.1632	0.973
Resíduo	18	3259926.20428374	181107.01134910		

Média : 3149.73504167

Raiz Quad. QMres.: 425.56669436

Coef. Variação: 13.51
