

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

**CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO E ALTERAÇÕES NOS
ATRIBUTOS DE SOLOS E PLANTAS SOB SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alcione Miotto

Santa Maria, RS, Brasil

2009

**CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO E ALTERAÇÕES NOS
ATRIBUTOS DE SOLOS E PLANTAS SOB SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO**

por

Alcione Miotto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, 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

2009

M669c Miotto, Alcione, 1979-

Calcários calcítico e dolomítico e alterações nos atributos de solos e plantas sob sistema de plantio direto / por Alcione Miotto ; orientador João Kaminski. - Santa Maria, 2009.
78 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2009.

1. Ciência do solo 2. Eficiência da calagem. 3. Reaplicação de calcário 4. Forma de aplicação 5. Relação Ca:Mg 6. Mecanismos de suprimento 7. Fluxo de massa 8. Difusão I. Kaminski, João, orient. II. Título

CDU: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

©2009

Todos os direitos autorais reservados a Alcione Miotto. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.
Endereço: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Solos/Av. Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, 97105-900.
Fone/Fax: (055) 3220-8108; End. Eletr. alcionemiotto@gmail.com

**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

**CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO E ALTERAÇÕES NOS
ATRIBUTOS DE SOLOS E PLANTAS SOB SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO**

elaborada por
Alcione Miotto

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)

Luciano Colpo Gatiboni, Dr (CAV – UDESC)

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

Dedico aos meus pais Dirceu Luiz Miotto e Inês Josefina Miotto, pelo incentivo, amor e exemplo de vida.

OFEREÇO à minha esposa Valmi, com quem tenho dividido momentos importantes da minha vida. Teu apoio é essencial para mim!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Departamento de Solos e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao professor João Kaminski, pela confiança depositada, ótima orientação, estímulo à busca do conhecimento, generosidade nos ensinamentos, conselhos e estimada amizade.

Ao professor Danilo Rheinheimer dos Santos pela co-orientação, estímulo constante, ensinamentos, amizade, confiança e exemplo de dedicação ao ensino e pesquisa.

Ao Professor Luciano Colpo Gatiboni pela co-orientação, ensinamentos, amizade e confiança depositada.

Aos professores Leandro Souza da Silva, Carlos Alberto Ceretta, Maria Alice Santanna pelos ensinamentos e valiosas discussões nos seminários do grupo de Química e Fertilidade do Solo.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação, pelos ensinamentos e pela oportunidade de convívio com excelentes profissionais dedicados à ciência do solo.

Ao Gustavo Brunetto pelo estímulo à pesquisa, ensinamentos, auxílio nas análises estatísticas e correções do trabalho, companheirismo, amizade, valiosos conselhos e exemplo de dedicação.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao SINDICALC pela importante ajuda financeira para implantação dos experimentos e execução da pesquisa.

À Cooperativa Tritícola Regional Santo Ângelo Ltda (COTRISA); Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP/CCGL) pela cedência das áreas experimentais, condução dos trabalhos de campo e auxílio nas avaliações.

Aos incansáveis e prestativos colegas de laboratório, Diego, Tales, Jaderson, Henrique, Rogério, Rodrigo, Vagner, Renan, Felipe e, em especial, ao César e ao Marcelo, pela ajuda na condução dos experimentos, análises laboratoriais, amizade, companheirismo e excelente convívio.

Ao funcionário Luiz Francisco Finamor, pela grande e incondicional ajuda prestada na condução dos trabalhos e realização das análises laboratoriais, ensinamentos, amizade, generosidade e exemplo de honestidade.

Aos funcionários do Laboratório de Análises de Solos Anderson, Paulo, Sérgio e Maria Medianeira, pelo auxílio prestado.

Ao funcionário do PPGCS Tarcísio Uberti pelo auxílio prestado.

Aos funcionários Alex Giuliani e Flávio Fotinelli pela ajuda e disposição.

Aos colegas de pós-graduação, em especial ao Fábio Joel Kochem Mallmann, Ricardo Bergamo Schenato, Paulo Ivonir Gubiani, Eduardo Lorensi de Souza, Gabriel de Franceschi dos Santos e Leandro Dalbianco, pelo coleguismo, estudos em grupo, discussões e, principalmente, amizade.

À minha esposa Valmi Schoenhals pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratório, paciência, incentivo e compreensão.

Enfim, agradeço ao apoio de todos que de um jeito ou de outro ajudaram e fizeram parte desta jornada.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

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

CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO E ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DE SOLOS E PLANTAS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Autor: Alcione Miotto

Orientador: João Kaminski

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2009.

A aplicação de calcário corrige a acidez do solo e eleva os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis. Os calcários calcítico e dolomítico podem não apresentar a mesma eficiência na correção da acidez do solo e, por aumentar ou diminuir a relação Ca:Mg do solo, causar problemas nutricionais às plantas e prejudicar o seu desenvolvimento. Foram conduzidos quatro experimentos: um em casa de vegetação e três em condições de campo. O experimento de casa de vegetação teve como objetivo quantificar o suprimento de cálcio e magnésio às raízes de soja cultivadas em solo com saturações crescentes de Mg na CTC pH 7. Utilizou-se um solo Latossolo Vermelho distrófico típico sem histórico de calagem, que foi coletado na camada 0-20 cm, seco, moído e passado em peneira de 2 mm. Em seguida, aplicou-se CaCO_3 ou a mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em quantidade suficiente para elevar o pH em água até 6 e capaz de criar saturações crescentes de Mg na CTC pH 7. O solo foi acondicionado em vasos e, após incubação, cultivado com soja por um período de 80 dias. Durante o experimento, foram realizadas avaliações da produção de matéria seca, teores e acúmulo de cálcio e magnésio nos tecidos e o suprimento destes às raízes. Os três experimentos de campo foram realizados com dois objetivos: a) avaliar as alterações resultantes da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nos teores trocáveis de cálcio e magnésio de solos e verificar seus efeitos na nutrição de plantas; e b) avaliar a eficiência de calcários calcítico e dolomítico com aplicação superficial e incorporada na correção da acidez de solos e na produtividade de culturas em sistema de plantio direto. Estes experimentos foram instalados em outubro de 2004, em diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul, conduzidos sob Sistema Plantio Direto e cultivados com culturas anuais. Os tratamentos consistiram da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico em dose suficiente para elevar o pH em água a 6, aplicados em superfície ou incorporados por lavração e gradagem. Foram avaliadas a produção de matéria seca de aveia preta, rendimento de grãos de soja, trigo e canola e teores de Ca e Mg no tecido vegetal destas culturas. Aos 42 meses da aplicação dos tratamentos foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 e 0-10 cm e determinados os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH em água e saturação por bases. Os resultados mostram que a alteração dos teores de Ca e Mg das plantas está mais ligada à magnitude do suprimento destes às raízes do que à relação Ca:Mg. Os calcários alteram consideravelmente os teores de Ca e Mg trocáveis e a relação Ca:Mg do solo, o que não provoca problemas nutricionais às culturas, pois quando os teores do solo são suficientes, a interação entre estes dois cátions na absorção pela planta é de baixa intensidade ou não existe. Os calcários calcítico e dolomítico apresentam a mesma eficiência agrônômica na correção da acidez e a produtividade das culturas não é afetada pelo tipo de calcário aplicado.

Palavras-Chave: Relação Ca:Mg; mecanismos de suprimento; fluxo de massa; difusão, eficiência da calagem, resposta a calagem, formas de aplicação.

ABSTRACT

Master Dissertation

Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo

Universidade Federal de Santa Maria

CALCÍTIC AND DOLOMITIC LIME AND ALTERATIONS IN THE ATTRIBUTES OF SOILS AND PLANTS IN NO-TILLAGE

Author: Alcione Miotto

Adviser: João Kaminski

Santa Maria, February 27, 2008.

The lime application decrease soil acidity and increase the exchangeable calcium (Ca) and magnesium (Mg) level. calcitic and dolomitic limes cannot present the same efficiency in soil acidity correction and since it can enlarge or narrow the Ca:Mg soil relationship, it also may cause nutritional problems to the plants or even to harm their development. Four experiments were carried out: one in a greenhouse and three in field conditions. The greenhouse experiment aimed to quantify the calcium and magnesium supply to the soybean roots cultivated in soil with Mg growing saturations in CEC pH 7. A no-liming Oxisoil was used; it was collected right on the 0-20 cm layer, dry, grind and sieved through 2 mm. Then CaCO_3 or the $\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$ mixture was applied aiming at elevating the water pH up to 6, making possible Mg growing saturations in CEC pH 7. The soil was conditioned in pots and, after incubation, cultivated with soybean for a period of 80 days. During the experiment, dry matter production evaluations, content and accumulation of calcium and also magnesium on tissue were carried out as well as the supply of those to the roots. The three field experiments were accomplished with two main objectives: a) to evaluate the resulting alterations of the calcitic and dolomitic limestone proportions application in the soils exchangeable level of calcium and magnesium and also to verify their effects in plants nutrition; and b) to evaluate the efficiency of calcitic and dolomitic limestone with superficial and incorporate application in soil acidity correction and in the productivity of crops in no-tillage. These experiments were carried in october 2004, in Rio Grande do Sul state different physiographic areas through no-tillage and cultivated with annual crops. The treatments consisted in an enough dose of calcitic and dolomitic limestone application proportions to elevate the pH in water up to 6, applied in the surface or incorporated. The production of black oats dry matter and soybean, wheat, canola grains yeild, and content of Ca and Mg in the vegetable tissue of these cultures were evaluated. After 42 months from the treatment application, soil samples were collected in the layers of 0-5; 5-10; 10-15; 15-20 and 0-10 cm and then the exchangeable level of Ca, Mg and Al, pH in water and saturation for bases were determined. The results show that the Ca and Mg plants content alterations are due to the magnitude of the supply of those to the roots more than to the Ca:Mg ratio. The limestone considerably alter the level of Ca and exchangeable Mg and also the Ca:Mg ratio of the soil, what does not provoke nutritional problems to the cultures as long as the soil tenors are enough, the interaction among both cations in the plant absorption is of low intensity or it does even exist. The calcitic and dolomitic limestone present the same agronomic efficiency in the acidity correction and the crops productivity is not affected by the type of applied limestone.

keywords: Ca:Mg ratio; supply mechanisms; mass flow; diffusion, efficiency of the liming, answer the liming, forms of limestone.

LISTA DE TABELAS

ESTUDO I

TABELA I.1 - Atributos químicos e físicos da camada de 0-20 cm do solo Latossolo Vermelho distrófico típico usado para o experimento de casa de vegetação.	22
TABELA I.2 – Produção de matéria seca da parte aérea e raízes, produção relativa, cálcio e magnésio acumulados no tecido e contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e difusão no suprimento de cálcio e magnésio às raízes de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	27
TABELA I.3 – Teores totais de cálcio e magnésio no tecido de soja cultivada num solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	29
TABELA I.4 – Concentração de cálcio e magnésio da solução do solo durante o cultivo de soja em solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	30

ESTUDO II

TABELA II.1 - Atributos químicos e físicos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, dos solos em Cruz Alta, Santo Ângelo e Santa Maria.	35
TABELA II.2 – Valores de pH em água, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio, saturação por cálcio, magnésio e por bases da camada 0-10 cm, 42 meses após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou sob campo nativo (Santa Maria).	37
TABELA II.3 - Teores (g kg ⁻¹ de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e trigo (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e	

dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistema de plantio direto consolidado – Cruz Alta.	40
TABELA II.4 - Teores (g kg-1 de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e trigo (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema de plantio direto consolidado – Santo Ângelo.	41
TABELA II.5 – Teores (g kg-1 de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e canola (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico arênico sob campo nativo – Santa Maria.	42
TABELA II.6 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo (camada 0-10 cm) 42 meses após a aplicação de proporções da calcário calcítico e dolomítico e teores de cálcio e magnésio das folhas de soja e parte aérea de trigo cultivados sob sistema de plantio direto.	43

ESTUDO III

TABELA III.1 - Atributos químicos e físicos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, dos solos em Cruz Alta, Santo Ângelo e Santa Maria.	48
TABELA III.2 – Produção de matéria seca de aveia e grãos de trigo e canola após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).	57
TABELA III.3 – Produção de soja após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).	59

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO I

FIGURA I.1 - Produção relativa (%) de matéria seca de soja, em função do percentual da quantidade de magnésio absorvida pelas plantas suprida pelo mecanismo de fluxo de massa, aos a) 20; b) 40; c) 60 e d) 80 dias de cultivo.....28

ESTUDO III

FIGURA III.1 – Valores de pH em água (1:1) 42 meses após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas referem-se ao limite de 5,5 estabelecido pela CQFS RS/SC (2004) para tomada de decisão para reaplicação de calcário.....51

FIGURA III.2 – Saturação da Capacidade de Troca de Cátions efetiva por alumínio 42 meses após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas referem-se ao limite de 10% estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004) para tomada de decisão para reaplicação de calcário.....52

FIGURA III.3 – Saturação da Capacidade de Troca de Cátions pH 7 por bases 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas refere-se ao limite de

65% estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004) para tomada de decisão para reaplicação de calcário.	53
FIGURA III.4 - Ganhos ou perdas de produtividade pela a incorporação de calcário se comparada a aplicação superficial. Considerou-se apenas as parcelas com aplicação de calcário.	60

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Produção de matéria seca da parte aérea, raízes e planta inteira, massa fresca radicular e volume radicular de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	69
APÊNDICE B - Teores totais de cálcio e magnésio da matéria seca da parte aérea de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Ca.	70
APÊNDICE C – Cálcio e magnésio acumulados na parte aérea de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	70
APÊNDICE D - Teores de cálcio e magnésio da matéria seca de raízes de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	71
APÊNDICE E - Cálcio e magnésio acumulados nas raízes de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	71
APÊNDICE F - Cálcio e magnésio acumulados nas plantas de soja (parte aérea e raízes) cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	72
APÊNDICE G - Transpiração acumulada por vaso durante os cultivos de soja em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	72
APÊNDICE H - Volume de água transpirada por grama de matéria seca produzida na parte aérea de plantas de soja cultivada num solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.	73
APÊNDICE I - Cálcio trocável 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas refere-se ao limite de $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ considerado bom pela CQFS -RS/SC (2004)	74

APÊNDICE J - Magnésio trocável 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas refere-se ao limite de 1 cmol _c dm ³ considerado bom pela CQFS-RS/SC (2004).	75
APÊNDICE K - Alumínio trocável 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).	76
APÊNDICE L - Alumínio trocável 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05).	77
APÊNDICE M - Valores de pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, saturação por alumínio e por bases da camada 0-20 cm, 42 meses após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
	2.1 Objetivo geral.....	18
	2.2 Objetivos específicos.....	18
3	ESTUDO I – SUPRIMENTO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO ÀS RAIZES E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE MATERIA SECA DE SOJA.....	19
	3.1 Introdução.....	20
	3.2 Material e métodos.....	22
	3.3 Resultados e discussão.....	24
	3.4 Conclusões.....	31
4	ESTUDO II – ESTADO NUTRICIONAL DE CULTURAS E ALTERAÇÃO DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO DE SOLOS PELA APLICAÇÃO DE CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO.....	32
	4.1 Introdução.....	33
	4.2 Material e métodos.....	34
	4.3 Resultados e discussão.....	36
	4.4 Conclusões.....	44
5	ESTUDO III – EFICIÊNCIA DE CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E RESPOSTA DE CULTURAS À CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	45
	5.1 Introdução.....	46
	5.2 Material e métodos.....	47
	5.3 Resultados e discussão.....	49
	5.4 Conclusões.....	61
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
8	APÊNDICES.....	69

1 INTRODUÇÃO

A calagem é uma prática essencial para elevar e manter a produtividade de solos ácidos e/ou acidificados pelo cultivo. Os corretivos da acidez do solo mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, que são classificados em dois tipos: calcíticos, quando o teor de óxido de magnésio é menor que 5% e dolomíticos, quando o teor de MgO é maior ou igual a 5%. A adição de calcário ao solo, além de corrigir a acidez, aporta consideráveis quantidades de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e, dependendo da proporção existente entre estes cátions no corretivo, pode resultar na alteração de suas proporções no complexo de troca de cátions. O problema em alterar a proporção entre Ca e Mg ou relação Ca:Mg do solo é que o excesso de um parece induzir a deficiência do outro, podendo até diminuir a produtividade das culturas.

A idéia que a relação Ca:Mg pode interferir na produtividade das culturas foi criada a mais de 100 anos, mas foi a partir da década de 1940, no Estados Unidos, que a discussão sobre a interação entre Ca e Mg ganhou maior importância. Estudos buscando a redução de custos com adubação potássica, sugeriram que “o solo ideal” deveria apresentar certas proporções entre os principais cátions do solo e, dentre estas, uma relação Ca:Mg de 6,5:1. Esta proporção induzia à saturação da CTC dos solos com Ca, insumo barato, abundante e que, em alta concentração, diminui um pouco a absorção de potássio pela planta. A expressão “solo ideal” parece ter estimulado a pesquisa na busca equivocada por relações Ca:Mg no solo ou no corretivo que resultasse em melhores produtividades das culturas. Os resultados obtidos por estes estudos mostram que não há uma melhor relação Ca:Mg e que a produtividade é máxima em uma ampla gama de relações. Porém, o fato de que em algumas condições experimentais, como experimentos conduzidos em casa de vegetação ou com solos de baixa CTC, um pequeno aumento da relação Ca:Mg diminui a absorção de Mg e vice-versa. Isso mantém a discussão ativa, pois sugerem que a interação entre estes cátions seja forte. Além disso, a maioria dos resultados experimentais de testes com estas relações apontam para relações maiores que 1:1, mostrando a necessidade de manter mais Ca que Mg na CTC.

No Rio Grande do Sul há duas condições que associadas levantam a discussão sobre a relação Ca:Mg. A primeira é o predomínio de jazidas de calcário dolomítico, cuja composição varia entre 26 a 28% de CaO e 14 a 18% de MgO. A segunda é que grande parte dos solos apresentam naturalmente teores elevados de Mg e relações Ca:Mg próximas a 2:1. Assim,

técnicos e produtores levantam a hipótese de que aplicações sucessivas de calcário dolomítico podem diminuir ainda mais as relações Ca:Mg destes solos, onde o excesso de Mg pode causar a deficiência Ca e diminuir a produtividade das culturas. Esta hipótese, mesmo sem a devida comprovação agrônômica, serve como um forte argumento de venda a favor do uso de calcário calcítico em substituição ao dolomítico. Entretanto, como a maioria dos estudos sobre a relação Ca:Mg preocupam-se apenas com suas proporções e não consideram se os teores destes no solo são suficientes para garantir um suprimento adequado às plantas, relações interpretadas como limitantes podem, na verdade, ser teores insuficientes de um destes nutrientes. Assim, é possível que a proporção entre estes cátions, bastante considerada por muitos estudos, não seja o principal problema da nutrição das plantas, mas sim o único fator observado.

O presente trabalho foi dividido em três estudos. O primeiro aborda sobre as alterações na magnitude do suprimento de Ca e Mg às raízes de soja decorrentes da variação dos teores destes cátions no solo. O segundo versa sobre as alterações dos teores de Ca e Mg trocáveis de solos resultantes da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico e o efeito na nutrição de plantas. O terceiro compara a eficiência de proporções de calcário calcítico e dolomítico quando aplicados de forma superficial ou incorporados na correção da acidez e produtividade de culturas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral comparar a eficiência de calcários calcítico e dolomítico na correção da acidez, nutrição e produtividade de culturas em sistema de plantio direto.

2.2 Objetivos específicos

O objetivo do estudo I foi:

Quantificar o suprimento de cálcio e magnésio às raízes de soja cultivadas em solo com saturações crescentes de Mg na CTC pH 7.

O objetivo do estudo II foi:

Avaliar as alterações resultantes da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nos teores trocáveis de cálcio e magnésio de solos e verificar seus efeitos na nutrição mineral de plantas.

O objetivo do estudo III foi:

Avaliar a eficiência de calcários calcítico e dolomítico com aplicação superficial e incorporada na correção da acidez de solos e na produtividade de culturas em sistema de plantio direto.

3 ESTUDO I

SUPRIMENTO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO ÀS RAÍZES E SUA INFLUÊNCIA NA PRODUÇÃO DE MATERIA SECA DE SOJA

RESUMO

Em estudos de interações entre cálcio (Ca) e magnésio (Mg), as alterações de seus teores no tecido das plantas têm sido atribuídas somente à sua competição na absorção. Contudo, a alteração dos teores trocáveis destes cátions no solo também modifica a sua disponibilidade para às plantas e o suprimento insuficiente pode ser interpretado como desbalanço entre Ca e Mg. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o suprimento de Ca e Mg às raízes de soja cultivadas em solo com saturações crescentes de Mg na CTC pH 7. Um solo Latossolo Vermelho distrófico típico sem histórico de calagem foi coletado na camada 0-20 cm, seco, moído e passado em peneira de 2 mm. Em seguida, aplicou-se CaCO_3 ou a mistura de $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ em quantidade suficiente para elevar o pH em água até 6 e capaz de criar saturações de 3, 9, 18, 27, 36 e 45% de Mg da CTC pH 7, que resultaram em relações Ca:Mg de 23,2:1, 7,7:1, 3,9:1, 2,6:1, 1,9:1 e 1,5:1. Posteriormente, o solo foi acondicionado em vasos com capacidade de 1,8 litros, contendo 2 kg de solo e incubado por 45 dias. Logo após, cultivou-se a soja por um período de 80 dias. Durante o experimento foram realizadas as seguintes avaliações: produção de matéria seca (parte aérea e raízes) teores e acúmulo de Ca e Mg nos tecidos e o suprimento destes às raízes. Os resultados mostram que, quando as concentrações na solução são insuficientes para manter o fluxo de massa como principal mecanismo de suprimento de Mg, aumentando o papel da difusão, ocorrem prejuízos no desenvolvimento das plantas, associados à menores produções de matéria seca. Quando o suprimento de cálcio e magnésio às raízes é suficiente, as interações entre estes cátions não causam problemas à produção de matéria seca de soja.

Palavras chave: relação Ca:Mg, balanço de cátions, mecanismos de suprimento, fluxo de massa e difusão.

3.1 INTRODUÇÃO

O uso de calcários com relações Ca:Mg muito amplas ou muito estreitas podem alterações nas relações desses cátions no solo, onde o excesso de um deles parece induzir a deficiência do outro. Desde que surgiu a hipótese de que há relações Ca:Mg limitantes para o crescimento das plantas (LOEW, 1892 apud MOSER, 1933), estudos têm buscado estabelecer um balanço destes dois cátions no solo ou no corretivo da acidez que resultem em melhores produtividades das culturas. Contudo, vários textos de revisão como os de Rehm (1994), Kelling; Peters (2004) e Kopittke; Menzies (2007), ou trabalhos com testes dessas relações, como Silva (1980), Grove; Summer (1985), Mello (1986), Munhoz Hernandez; Silveira (1998), Gomes et al. (2002) e Medeiros et al. (2008) não apresentam conclusões concordantes, e não estabelecem qual a relação mais adequada ou limitante para plantas cultivadas. Em geral, destacam que a produtividade é máxima em uma gama de relações Ca:Mg e que quanto maior é esta relação, maior o teor de Ca e menor o de Mg na planta, e vice-versa. Alguns estudos mostram diferentes alterações nos teores destes cátions na planta para relações Ca:Mg similares, indicando que outro(s) fator(es) pode(m) estar interferindo no efeito. Outra constatação interessante é que estudos realizados em solos de baixa CTC ou realizados em casa de vegetação constata até inibição entre eles. Por isso, a natureza da relação Ca:Mg não está bem clara, tendo sido classificada como inibição competitiva (MOORE; OVERSTREET; JACOBSON, 1960; MARSCHNER, 1995; FAGERIA, 2001), antagonismo (FOX; PIEKIELEK, 1984; MENGEL; KIRKBY, 1987; MEDEIROS et al., 2008) e de origem eletrostática (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), devido ao equilíbrio existente entre estes cátions e cátions monovalentes na fase sólida e na solução do solo, conhecido como equilíbrio de Gapon. Porém, como a relação entre eles é sempre alterada em favor de um ou de outro, quando se usa calcário como corretivo da acidez, a discussão do seu papel no solo é conduzida como o de uma relação entre cátions. Dessa forma, a variação do suprimento destes nutrientes, que resultam em alterações de seus teores no solo, é pouco ou, simplesmente, não é considerada nos estudos como uma possível consequência da interação entre eles.

Para que um nutriente seja absorvido pela planta, é necessário que ocorra a sua liberação da fase sólida para a solução do solo e posterior movimentação até a superfície da raiz, onde é absorvido e translocado para sítios de residência na parte aérea (FAGERIA, 1984). Assim, a

biodisponibilidade de um nutriente depende, basicamente, da sua concentração na solução (MARSCHNER, 1995), do seu transporte para a superfície radicular (CHEN; GABELMAN, 2000) e da quantidade de água transpirada. No processo de absorção de um nutriente pelas raízes das plantas, as interações iônicas nos sítios de adsorção e a concentração de íons na solução do solo são parâmetros importantes na nutrição das plantas e na produção das culturas (KHASAWNEH, 1971).

São aceitos três mecanismos envolvidos no suprimento de nutrientes às raízes: o fluxo de massa, a difusão e a interceptação radicular. O transporte de um nutriente até as raízes por fluxo de massa ocorre pela movimentação da solução do solo a favor do gradiente hídrico, gerado pela transpiração da planta. A quantidade de nutrientes que chega por fluxo de massa depende da concentração deste na solução do solo e do volume transpirado. Quando a taxa de absorção de um nutriente é maior que o suprimento por fluxo de massa, cria-se próximo as raízes um gradiente de concentração. Nessa condição, o movimento térmico dos nutrientes leva à difusão até superfície das raízes, onde as concentrações devem ser próximas de zero. A interceptação radicular ocorre quando os nutrientes são interceptados pelas raízes durante o crescimento radicular (Malavolta, 1980). Recentemente, a interceptação radicular não é mais considerada, pois não é aceita a possibilidade de trocas diretas entre as partículas de solo e as raízes (RUIZ et al., 1999).

O principal mecanismo envolvido no transporte de Ca e Mg às raízes das plantas é o fluxo de massa (AL-ABBAS; BARBER, 1964; VARGAS et al., 1983; RUIZ et al., 1999). Quando as suas concentrações são baixas na solução do solo, de modo que não atenda a demanda pelo fluxo de massa, também poderá ocorrer a difusão (AL-ABBAS; BARBER, 1964, VARGAS et al., 1983).

Alterando a quantidade e a proporção de Ca e Mg trocáveis, modifica-se também a concentração e a proporção destes cátions na solução do solo. Logo, quando se aumenta a quantidade de Ca na CTC e se diminui o Mg, obtém-se uma solução do solo com mais Ca e menos Mg, e vice-versa. Com isso, cria-se diferentes relações Ca:Mg no solo, o que pode alterar o suprimento e até mesmo o mecanismo envolvido no transporte destes às raízes.

A maioria dos estudos da interação entre Ca e Mg atribui à interação competitiva ou antagonica entre estes cátions as menores produtividades e as alterações dos seus teores nas plantas, sem a preocupação com o mecanismo envolvido no transporte destes até as raízes, nem com a magnitude do suprimento destes às raízes.

O presente trabalho teve como objetivo quantificar o suprimento de cálcio e magnésio às raízes de soja cultivadas em solo com saturações crescentes de Mg na CTC pH 7.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria (RS), no período de setembro de 2007 a fevereiro de 2008. Utilizou-se um solo Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 2006), coletado em uma área sob sistema de plantio direto (SPD), cultivado com culturas anuais e sem histórico de calagem, na área experimental da Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP/CCGL), município de Cruz Alta (RS), coordenadas geográficas 28° 36' 16" S 53° 40' 13" O. O solo foi coletado na camada de 0-20 cm e, logo depois, seco ao ar, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e reservado. O solo apresentava os atributos (TEDESCO et al., 1995) descritos na tabela I.1.

Tabela I.1 - Atributos químicos e físicos da camada de 0-20 cm do solo Latossolo Vermelho distrófico típico usado para o experimento de casa de vegetação.

Atributos	Valor
Argila, g kg ⁻¹	479
Silte, g kg ⁻¹	341
Areia, g kg ⁻¹	180
Matéria orgânica, g kg ⁻¹	33
pH-H ₂ O (1:1)	4,3
Índice SMP	4,5
H +Al, cmolc kg ⁻¹ (1)	25,0
Cálcio trocável, cmolc kg ⁻¹	1,2
Magnésio trocável, cmolc kg ⁻¹	0,9
Alumínio trocável, cmolc kg ⁻¹	5,8
Fósforo disponível, mg kg ⁻¹	19
K trocável, cmolc kg ⁻¹	0,34
Saturação por Al ⁺³ , % (m)	70,8
CTC efetiva, cmolc kg ⁻¹	8,2
CTC pH 7, cmolc kg ⁻¹	27,5
Saturação por bases, % (V%) (2)	8,8
Saturação por Ca, % (2)	4,4
Saturação por Mg, % (2)	3,2
Saturação por K, % (2)	1,2

(1) Estimado com base no índice SMP (CQFS-RS/SC, 2004); (2) Calculado com base na CTC pH 7.

Com base na quantidade de calcário necessária para elevar o pH em água até 6, que neste solo foi de $8,65 \text{ g kg}^{-1}$, equivalente a $17,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (CQFS-RS/SC, 2004), foram criadas saturações crescentes de Mg na Capacidade de Troca de Cátions (CTC) a pH 7. Assim, foi aplicado carbonato de cálcio (CaCO_3) ou a mesma quantidade molar da mistura de CaCO_3 + carbonato de magnésio (MgCO_3), criando-se saturações calculadas de 3, 9, 18, 27, 36 e 45% de Mg na CTC a pH 7, que resultaram em relações Ca:Mg de 23,2:1, 7,7:1, 3,9:1, 2,6:1, 1,9:1 e 1,5:1. Em todos os tratamentos a saturação de bases atingida foi igual a 70%, sendo que a saturação da CTC por Ca, em cada tratamento, foi a diferença entre a soma das saturações de Mg e K e a saturação por bases atingida. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com 6 tratamentos, 5 repetições e 4 épocas de avaliação.

O corretivo foi aplicado e misturado a $2,0 \text{ kg}$ de solo. Em seguida, foi acondicionado em vasos com capacidade de 1,8 litros. Logo depois, foi adicionada água para atingir a Capacidade de Campo ($0,25 \text{ g g}^{-1}$) e incubados por 45 dias. Ao final deste período foi aplicado, em mg kg^{-1} de solo: P = 60, K = 20, N = 24, Zn = 2, Cu = 1, Mn = 10, S = 5 e B = 0,05, na forma de solução. Durante a aplicação dos nutrientes, o solo de cada vaso foi revolvido para distribuição uniforme dos nutrientes, sendo novamente umedecido e incubado por mais 10 dias com umidade próxima a CC.

Em cada vaso foram semeadas cinco sementes de soja (Fundacep 55RR) pré-germinadas e, após a emergência das plântulas (2 dias após a semeadura) foram retiradas duas plântulas, permanecendo três em cada vaso. Em seguida, cada vaso recebeu uma tampa de isopor, igual ao seu diâmetro, com 10 mm de espessura, afastada 10 mm do solo, com 3 perfurações padronizadas de 35 mm de diâmetro pelas quais as plântulas foram passadas cuidadosamente. As tampas protegeram o solo do aquecimento pela incidência direta dos raios solares, diminuindo e padronizando a área de evaporação. Ao longo do cultivo o solo foi mantido na CC pela reposição da água evapotranspirada, calculada pela pesagem diária dos vasos.

Aos 20, 40, 60 e 80 dias de cultivo, em 5 repetições de cada tratamento, foram realizadas as seguintes avaliações: produção de matéria seca (MS) (parte aérea e raízes); teores e acúmulo de Ca e Mg na planta e a contribuição do fluxo de massa e da difusão no suprimento destes cátions às raízes. As plantas foram cortadas rente a superfície do solo e reservadas. Em seguida, as raízes foram separadas manualmente do solo, lavadas com água destilada e reservadas. Aos 60 dias de cultivo, na ocasião da 3ª época de avaliação, quando as plantas estavam em estágio de

plena floração, foram coletados os primeiros trifólios totalmente desenvolvidos localizados no terço superior das plantas, para avaliar o seu estado nutricional (MALAVOLTA, 1992; CQFS-RS/SC, 2004). A matéria seca da parte aérea e raízes foram secas em estufa a 60° C até peso constante, moídas e preparadas para digestão nitroperclórica (EMBRAPA, 1999). Nos extratos foram determinados os teores totais de Ca e Mg por Espectrofotometria de Absorção Atômica (EAA).

Para estimar o suprimento de Ca e Mg às raízes, considerou-se dois mecanismos de aproximação, o fluxo de massa e a difusão. Para tal, no início do experimento e aos 20, 40, 60 e 80 dias de cultivo, por ocasião das avaliações da produção de MS, foi extraída a solução do solo por centrifugação (MEURER; ANGHINONI, 2006), com o solo na CC e determinadas as concentrações de Ca e Mg por EAA. Com os resultados obtidos ajustou-se equações de regressão que descrevem a concentração da solução do solo no tempo. Com isso, pode-se calcular a contribuição do fluxo de massa pelo somatório da transpiração diária multiplicada pela concentração do elemento na solução do solo. A transpiração foi calculada pela evapotranspiração menos a evaporação média de cinco vasos sem plantas, ambas estimadas por diferença de pesagem, efetuada diariamente. A difusão foi calculada subtraindo-se a quantidade suprida por fluxo de massa da quantidade acumulada pelas plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando significativos para fatores qualitativos, foram submetidos ao teste de comparação de médias admitindo-se 5% de probabilidade de erro. Com os fatores quantitativos foram ajustadas as equações de regressão. Considerou-se a produção relativa de 90% para o estabelecimento do suprimento não deficitário.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da produção de matéria seca de soja, a quantidade de Ca e Mg acumulados no tecido, a contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e difusão e o suprimento destes às raízes são mostrados na tabela I.2. O fluxo de massa foi o principal mecanismo de transporte de Ca e Mg às raízes da soja. Em todos os tratamentos, o fluxo de massa transportou quantidades de Ca superiores às absorvidas pelas plantas. Até os 20 dias de cultivo os tratamentos aplicados resultaram num suprimento de Ca de 3,4 a 8,2 vezes maior que a quantidade acumulada pelas plantas. Durante o período de maior absorção (após os 20 dias de cultivo), o suprimento foi

mantido, havendo uma pequena diminuição ao longo do cultivo. Considerando os 80 dias avaliados, aproximou-se da raiz por fluxo de massa de 2,7 (45% da CTC com Mg) a 5,2 vezes (3% da CTC com Mg) mais Ca que a quantidade absorvida pelas plantas.

Nos tratamentos onde foram utilizadas as menores saturações de Mg na CTC, o fluxo de massa não supriu a demanda das plantas por este nutriente e parte da quantidade absorvida aproximou-se das raízes por difusão. Nos tratamentos com 3 e 9% de saturação com Mg, já no período inicial de crescimento das plantas, quase a metade do Mg absorvido pelas plantas aproximou-se das raízes por difusão. A difusão também ocorreu no tratamento com 18% de saturação por Mg ($5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Mg trocável) após os 60 dias de cultivo, mostrando que teores altos de Mg trocável não foram suficientes para manter o suprimento por fluxo de massa durante todos os estádios vegetativos. Nos tratamentos com 27 a 45% de saturação por Mg, o fluxo de massa supriu de 2,3 a 4,8 vezes a demanda das plantas até os 40 dias, apresentando uma diminuição gradual do suprimento ao longo do cultivo.

Os resultados de fluxo de massa e difusão observados neste trabalho corroboram os obtidos por Vargas et al. (1983) que, utilizando 13 solos do Rio Grande do Sul cultivados por 13 dias com milho, concluíram que o fluxo de massa foi o principal mecanismo de suprimento, transportando até as raízes em média 3,4 vezes mais Ca e 1,7 vezes mais Mg que a quantidade absorvida pelas plantas. Neste mesmo estudo, em dois dos solos estudados foi observado que a difusão contribuiu com mais de 20% do Mg absorvido pelas plantas. Al-Abbas; Barber (1964), avaliando o suprimento de Ca e Mg às raízes de soja cultivada por 26 dias, mostraram que o mecanismo de difusão é atuante no suprimento de Mg em solos com baixos teores deste nutriente; porém o Ca é transportado essencialmente por fluxo de massa. Já Ruiz et al. (1999), em um estudo utilizando arroz cultivado por 75 dias como planta teste, observaram que o suprimento de Ca e Mg por fluxo de massa foi maior que a quantidade absorvida pelas plantas.

O suprimento por fluxo de massa representa para a planta uma condição de plena disponibilidade do nutriente. Quando um nutriente é suprido plenamente por este mecanismo, a taxa de suprimento é igual ou maior que a taxa de absorção. A diminuição do teor de água no solo implica no aumento da concentração destes nutrientes na solução do solo, podendo manter um suprimento adequado mesmo quando a umidade do solo não esteja em níveis ótimos. O suprimento por fluxo de massa é de grande importância para o suprimento de Ca, pois sua absorção é de baixa eficiência e ocorre principalmente nos tecidos novos da raiz, antes da

suberização (KIRBY, 1979). Além disso, seu movimento na planta é unidirecional, apresentando baixa translocação interna, o que exige um suprimento compatível com a demanda durante todo o ciclo da planta. Embora as plantas sejam mais eficientes na absorção do Mg, que pode ser translocado na planta, o suprimento por fluxo de massa garante as taxas adequadas também para este nutriente.

De forma diferente, a ocorrência do mecanismo de difusão indica que não há concentração suficiente na solução para que o nutriente seja suprido apenas pelo movimento da solução de solo em direção às raízes e pode representar, circunstancialmente, uma condição de deficiência. A taxa de difusão é altamente dependente do teor de água, para manter contínuas as vias do deslocamento, da tortuosidade do caminho, da temperatura e do gradiente de concentração, além do coeficiente de difusividade do elemento na solução (MALAVOLTA, 1980). Quanto menor o teor de água do solo, maior será a interação entre os íons e as partículas do solo, diminuindo a taxa de difusão que pode ser insuficiente para atender a demanda da planta.

Como o suprimento de Ca às raízes foi maior que a quantidade absorvida pelas plantas em todos os tratamentos (Tabela I.2), é improvável que tenha havido uma condição de deficiência deste nutriente. Assim, as diferentes produtividades de MS observadas em cada época de avaliação devem-se à variação na disponibilidade de Mg. As maiores produtividades de MS de soja foram obtidas nos tratamentos onde o suprimento de Mg por fluxo de massa foi maior que a quantidade absorvida pelas plantas. As menores foram observadas onde ocorreu o mecanismo de difusão (Tabela I.2).

Outro fator importante a ser ressaltado é que a demanda da planta por Mg foi maior no período de crescimento vegetativo. Para uma produção relativa de 90% foi necessário um suprimento de Mg 139, 211, 195 e 121% maior que a quantidade absorvida até os 20, 40, 60 e 80 dias de cultivo, respectivamente (Figura I.1). Isto mostra a necessidade da manutenção do suprimento adequado deste nutriente às plantas durante os estádios de rápido crescimento vegetativo, até a plena floração. Um suprimento insuficiente de Mg, principalmente após os 20 dias de cultivo, é a causa mais provável da diminuição da produtividade dos tratamentos com 3, 9 e 18% da CTC saturada com Mg. A diminuição do suprimento por fluxo de massa e o aumento da difusão durante o cultivo mostram que experimentos que tenham como objetivo avaliar o suprimento destes nutrientes e os efeitos das interações Ca:Mg devem realizar avaliações com plantas em estádios avançados de desenvolvimento.

Tabela I.2 – Produção de matéria seca da parte aérea e raízes, produção relativa, cálcio e magnésio acumulados no tecido e contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e difusão no suprimento de cálcio e magnésio às raízes de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC pH 7 com Mg	Matéria seca	Produção relativa	Cálcio acumulado	Fluxo de massa	Difusão	Magnésio acumulado	Fluxo de massa	Difusão
	g vaso ⁻¹	%	mg vaso ⁻¹	-----%-----		mg vaso ⁻¹	-----%-----	
-----20 dias de cultivo-----								
3%	3,4	77,4	62	821	-	18	56	44
9%	3,6	80,3	59	735	-	20	55	45
18%	4,0	89,4	69	643	-	25	103	-
27%	4,1	92,3	67	493	-	32	183	-
36%	4,4	100,0	59	381	-	41	239	-
45%	4,4	100,0	50	336	-	48	369	-
DMS	0,6		11			7		
CV, %	8,21		9,08			10,93		
-----40 dias de cultivo-----								
3%	8,4	58,2	146	893	-	36	67	33
9%	10,2	70,2	165	700	-	42	65	35
18%	11,0	75,9	181	638	-	54	109	-
27%	13,3	91,7	199	482	-	71	230	-
36%	14,4	99,4	180	364	-	89	346	-
45%	14,5	100,0	153	304	-	112	487	-
DMS	2,4		38			14		
CV, %	10,23		11,49			10,85		
-----60 dias de cultivo-----								
3%	24,6	72,2	395	660	-	84	52	48
9%	23,4	68,7	375	612	-	85	56	44
18%	28,5	83,6	440	515	-	129	81	19
27%	30,9	90,9	411	459	-	168	194	-
36%	32,5	95,4	385	329	-	192	326	-
45%	34,0	100,0	333	272	-	231	469	-
DMS	4,0		61			24		
CV, %	7,01		7,98			8,19		
-----80 dias de cultivo-----								
3%	46,0	83,3	673	518	-	106	52	48
9%	40,8	73,8	509	633	-	115	53	47
18%	48,0	86,8	556	541	-	193	70	30
27%	53,3	96,4	581	431	-	254	174	-
36%	54,4	98,3	544	307	-	318	262	-
45%	55,3	100,0	457	268	-	375	382	-
DMS	5,9		118			32		
CV, %	6,08		10,87			7,11		

⁽¹⁾Diferença mínima significativa obtida pelo teste de Tukey (alfa=0,05).

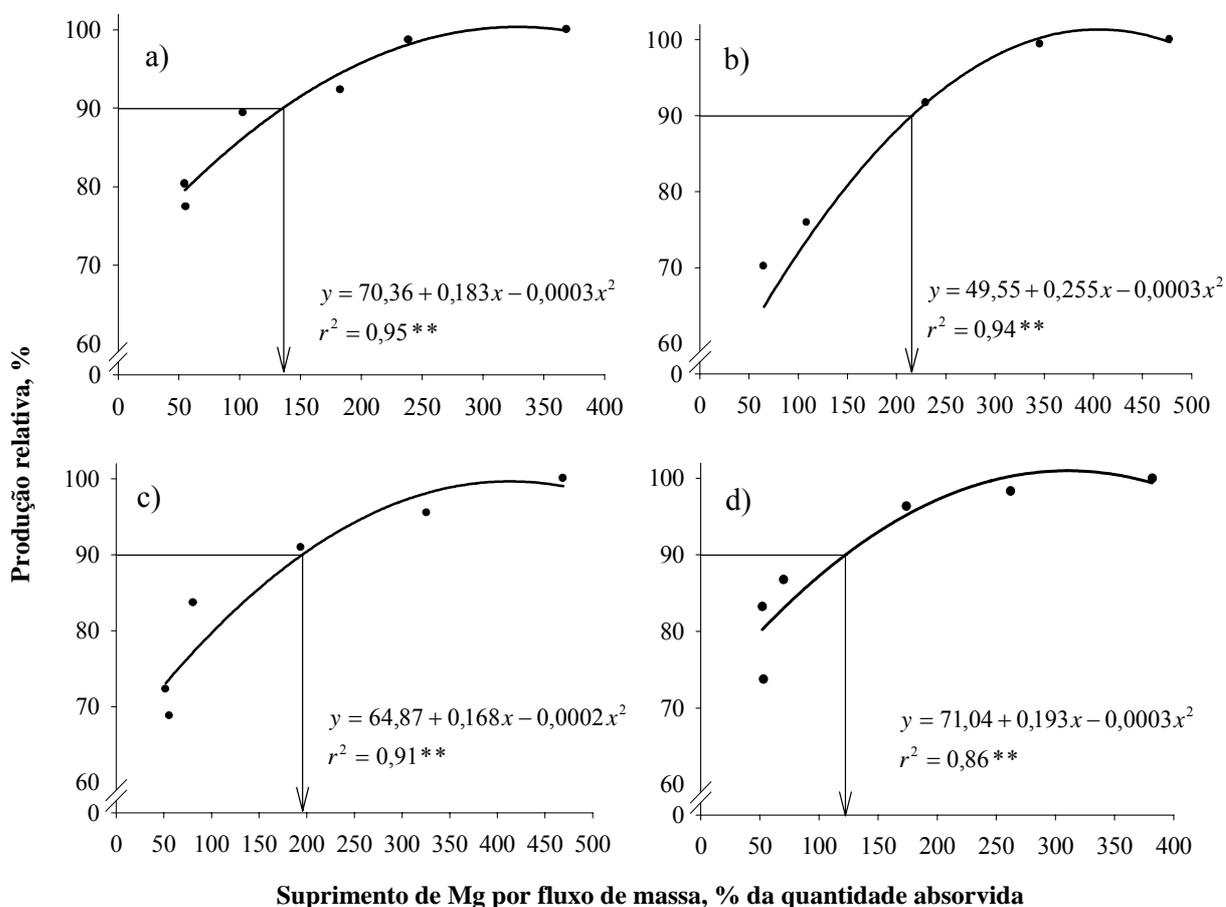


Figura I.1 - Produção relativa (%) de matéria seca de soja, em função do percentual da quantidade de magnésio absorvida pelas plantas suprida pelo mecanismo de fluxo de massa, aos a) 20; b) 40; c) 60 e d) 80 dias de cultivo.

Os teores de Ca e Mg nas plantas variaram de forma linear com os tratamentos, sendo coerentes com a magnitude de seus suprimentos às raízes (Tabela I.2 e I.3). Mesmo que em todos os tratamentos o mecanismo de fluxo de massa tenha aproximado das raízes mais Ca que a quantidade absorvida, os teores deste nutriente diminuíram de $20,8 \text{ g kg}^{-1}$ (3% de saturação por Mg), quando o suprimento foi 6,6 vezes maior que a quantidade absorvida, para $13,4 \text{ g kg}^{-1}$ (45% de saturação por Mg), quando o suprimento foi 2,7 vezes maior que quantidade absorvida. Isso mostra coerência com a sua concentração no tratamento, indicando que o teor na planta é uma resposta quantitativa, ou de concentração, e não qualitativa, ou das relações entre Ca e Mg.

Devido a maior variação na magnitude do suprimento, os teores de Mg na planta foram mais afetados pelos tratamentos, passando de $3,8 \text{ g kg}^{-1}$, quando o fluxo de massa atendeu 56% da quantidade absorvida, para $7,4 \text{ g kg}^{-1}$, quando o suprimento foi 4,7 vezes maior que a

quantidade absorvida. Mesmo apresentado diferentes produtividades de MS, em todos os tratamentos os teores de Ca e Mg nas folhas da soja são considerados normais (CQFS-RS/SC, 2004; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). É importante salientar que em nenhum tratamento e estágio de desenvolvimento as plantas apresentaram sintomas visíveis de deficiência de Ca ou Mg. Apenas nos tratamentos com 3 e 9% de saturação por Mg verificou-se um amarelecimento e queda das folhas mais velhas, principalmente após os 40 dias de cultivo.

Tabela I.3 – Teores totais de cálcio e magnésio no tecido de soja cultivada num solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC pH 7 com Mg	Ca	Mg
	-----g kg ⁻¹ de MS-----	
3%	20,8 ⁽¹⁾	3,8 ⁽²⁾
9%	19,5	3,9
18%	18,3	4,5
27%	17,0	5,4
36%	15,9	6,3
45%	13,4	7,4
CV, %	6,05	5,72

⁽¹⁾ Ca= 9,99 + 0,164x (r²=0,98**); ⁽²⁾ Mg= 3,8 +0,088x (r²=0,93**); ** Significativo à 1%.

Vários autores relatam variações dos teores de Ca e Mg no tecido das plantas quando há variação das relações Ca:Mg no solo (SILVA, 1980; MELLO, 1986; GROVE; SUMMER, 1985; MUNHOZ HERNANDEZ; SILVEIRA, 1998; GOMES et al., 2002; MEDEIROS et al., 2008), mas isso pode ser consequência da própria vinculação entre eles quando se usa calcário como corretivo, pois sempre que se aumenta um diminui-se o outro. Contudo, no presente estudo, é possível observar que a diminuição dos teores de Ca na planta a medida que os teores de Mg do solo são aumentados, pode até ser atribuída à interação Ca:Mg, mas ocorre principalmente devido a diminuição da magnitude de seu suprimento. No sentido contrário, a diminuição dos teores de Mg da planta a medida que os teores de Ca do solo são aumentados, está visivelmente mais ligado à diminuição do suprimento deste às raízes do que à competição exercida pelo Ca.

Observando o comportamento da solução do solo (Tabela I.4), constatou-se que a diminuição da concentração de Mg durante o cultivo da soja foi o fator principal para o suprimento insuficiente nos tratamentos com menores saturações deste nutriente, pois a eficiência hídrica das plantas foi a mesma (Apêndice H). A depleção de Mg da solução do solo foi rápida e, no período de maior produção de MS e demanda de nutrientes, que coincidem com maiores

transpirações, os teores deste nutriente não foram suficientemente altos na solução para que o fluxo de massa atendesse a demanda da planta nos tratamentos com 3, 9 e 18% de saturação com Mg. Este comportamento não era esperado, pois a quantidade absorvida pelas plantas é pequena, se comparada aos teores trocáveis existentes no solo. No entanto, ao cultivar plantas em um vaso, limita-se o volume de solo e aumenta-se a densidade radicular, resultando em uma maior exploração dos nutrientes. Assim, mesmo havendo no solo teores trocáveis considerados altos, a cinética de dessorção pode ser mais lenta que a taxa de absorção. O resultado é a depleção da solução do solo, refletido pela insuficiência de íons transportados por fluxo de massa, por isso são complementados pela difusão, como ocorrido nesse experimento. Isto indica que experimentos realizados em casa de vegetação, por limitar o volume de solo, acabam por diminuir sua capacidade de tamponamento da solução, resultando em um suprimento insuficiente às raízes que não é considerado, mas interpretado como interações da relação Ca:Mg.

Tabela I.4 – Concentração de cálcio e magnésio da solução do solo durante o cultivo de soja em solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC pH 7 por Mg	Dias de cultivo					Equação	R ²
	0	20	40	60	80		
-----[Ca] na solução do solo, mg L ⁻¹ -----							
3%	563	451	284	191	149	$y = -118,37 + 692,16e^{-0,0125x}$	0,91**
9%	476	410	253	203	172	$y = -15,36 + 503,75e^{-0,0132x}$	0,91**
18%	490	336	208	178	134	$y = 87,09 + 405,31e^{-0,0268x}$	0,92**
27%	327	237	142	140	109	$y = 83,02 + 247,38e^{-0,0280x}$	0,93**
36%	206	136	102	91	73	$y = 68,13 + 136,99e^{-0,0342x}$	0,79**
45%	190	97	70	81	45	$y = 59,14 + 129,85e^{-0,0608x}$	0,89**
DMS ⁽¹⁾	63,55	55,93	25,27	35,10	22,94		
CV, %	12,98	15,43	10,97	18,24	13,48		
-----[Mg] na solução do solo, mg L ⁻¹ -----							
3%	13,1	7,7	5,3	2,6	1,9	$y = -0,13 + 13,20e^{-0,0243x}$	0,95**
9%	13,8	8,7	6,3	3,1	2,1	$y = -1,44 + 15,17e^{-0,0187x}$	0,98**
18%	34,4	16,0	10,7	7,2	4,9	$y = 4,79 + 29,47e^{-0,0447x}$	0,97**
27%	66,8	37,5	28,1	25,0	19,6	$y = 20,32 + 46,25e^{-0,0468x}$	0,95**
36%	78,8	57,1	59,3	42,6	38,4	$y = 21,59 + 55,58e^{-0,0147x}$	0,49*
45%	166,4	92,6	107,3	82,8	50,7	$y = 50,11 + 110,15e^{-0,0264x}$	0,73**
DMS	16,06	13,71	12,41	5,71	9,27		
CV, %	19,77	28,71	26,29	16,08	36,26		

⁽¹⁾Diferença mínima significativa obtida pelo teste de DMS (alfa=0,05); **Significativo à 1%; *Significativo à 5%;
^{ns}Não significativo.

Nessa linha, Medeiros et al. (2008), cultivando milho em condições de casa de vegetação por 45 dias, observaram que relações Ca:Mg maiores que 8:1 diminuíram a produtividade de MS. Já Munhoz Hernandez; Silveira (1998) relatam diminuição da produção de MS de milho quando a relação Ca:Mg foi maior que 3:1, com saturação por bases de 50%; porém, quando a saturação por base era de 70%, relações de 2:1 a 5:1 apresentaram a mesma produtividade. O que confirma a hipótese acima.

Os dados obtidos no presente trabalho mostram que estudos de relações Ca:Mg são mais quantitativos (resposta à teores) antes de serem qualitativos (resposta à relação Ca:Mg), como considerado por muitos estudos. Ao interpretar dados deste tipo de experimento apenas de forma qualitativa, procurando a melhor relação Ca:Mg, presume-se que os teores destes nutrientes no solo estejam acima do teor crítico. Caso contrário, valores de relações Ca:Mg consideradas limitantes, na verdade podem ser a resposta a teores insuficientes, ou àqueles incapazes de manter o suprimento da planta, potencializados pelo cultivo em pequeno volume de solo, o que promove rápida depleção desses nutrientes na solução.

3.4 CONCLUSÕES

Quando as concentrações na solução são insuficientes para manter o fluxo de massa como principal mecanismo de suprimento de Mg, aumentando o papel da difusão, ocorrem prejuízos no desenvolvimento das plantas, associados à menores produções de matéria seca.

Quando o suprimento de cálcio e magnésio às raízes é suficiente, as interações entre estes cátions não causam problemas à produção de matéria seca de soja.

4 ESTUDO II

ESTADO NUTRICIONAL DE CULTURAS E ALTERAÇÃO DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO DE SOLOS PELA APLICAÇÃO DE CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO

RESUMO

Quando os teores de Mg trocáveis do solo são considerados suficientes, a busca por um balanço de cátions adequado para suprir a demanda das plantas tem tornado a opção por calcário calcítico ou dolomítico bastante controversa. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações resultantes da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nos teores trocáveis de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) de solos e verificar seus efeitos na nutrição mineral de plantas. Em outubro do ano de 2004, foram instalados três experimentos de campo em diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul (RS), conduzidos sob Sistema Plantio Direto (SPD) e cultivados com aveia, trigo, soja e canola. Os tratamentos consistiram da aplicação de calcário calcítico, dolomítico ou suas misturas, em doses suficientes para elevar o pH em água a 6, estimada pelo método SMP. Foram utilizadas as seguintes proporções: calcítico (puro); calcítico 3:1 dolomítico; calcítico 1:1 dolomítico; dolomítico 3:1 calcítico; dolomítico (puro) e testemunha (sem calcário), aplicados em superfície ou incorporados por lavração e gradagem. Em amostras de solo coletados na camada 0-10 cm, 42 meses após a aplicação dos tratamentos, foram determinados os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH em água, e calculada a saturação da CTC pH 7 por Ca, Mg e bases. Também foram avaliados os teores de Ca e Mg do tecido das plantas em cada experimento. Os resultados mostram que a aplicação de calcário calcítico, dolomítico e suas misturas promovem alterações nos teores de cálcio e magnésio do solo, mas não afetam as suas relações nas plantas, por isso não provocam problemas nutricionais. Quando os teores de cálcio e magnésio do solo são suficientes, a interação entre estes dois cátions na absorção pela planta é de baixa importância.

Palavras chave: relação Ca:Mg, balanço de cátions, nutrição de plantas.

4.1 INTRODUÇÃO

Os calcários agrícolas apresentam diferentes características químicas, sendo classificados como calcítico, quando o teor de óxido de magnésio (MgO) é inferior a 5% e dolomítico quando o teor de MgO é igual ou superior a 5% (Brasil, 2004). Desconsiderando as diferenças regionais no custo dos calcários, a opção técnica pela aplicação de calcário calcítico ou dolomítico geralmente está baseada em dois critérios: o teor de Mg trocável no solo ou a busca de balanço entre Ca e Mg (relação Ca:Mg) que resulte em maiores produtividades. Quando os teores de Mg trocáveis no solo são baixos, recomenda-se a aplicação de calcário dolomítico, pois além de corrigir a acidez do solo, serve como fonte de Mg às plantas (CQFS-RS/SC, 2004). No entanto, quando os teores de Mg trocáveis são considerados suficientes, a busca por relações Ca:Mg ideais no solo ou saturações da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) nas quais as suas proporções sejam adequadas para suprir a demanda das plantas, torna a opção pelo uso de calcário calcítico ou dolomítico bastante controversa.

A interação existente entre Ca e Mg é conhecida há muitos anos. De acordo com Moser (1933), a hipótese de que a relação Ca:Mg pode interferir na produtividade das culturas foi originalmente proposta por Loew em 1892 na Alemanha. Alguns anos depois, Loew; May (1901) apud Koptittke; Menzies (2007), buscando solucionar problemas com o excesso de Mg (e possível falta de Ca), concluíram em sua pesquisa que relações Ca:Mg de 1,25:1 seriam ideais para a germinação e crescimento das culturas. Esse conceito ganhou força mais tarde com os trabalhos de William A. Albrecht e Firman Bear e colaboradores, realizados nos anos 1940 a 1950 em Wisconsin, Estados Unidos (REHM, 1994; KELLING; PETERS, 2004; KOPITTKKE; MENZIES, 2007). Objetivando diminuir o consumo de luxo de potássio pela cultura da alfafa (saturando o solo com Ca, insumo mais barato), Bear; Prince; Malcom (1945) criaram o conceito que o “solo ideal” teria sua CTC saturada com 65% de Ca, 10% com Mg, 5% com potássio (K) e 20% com hidrogênio (H) ou relações Ca:Mg de 6,5:1, Ca:K 13:1, Mg:K 2:1. Estes valores foram erroneamente assumidos por muitos na busca de melhores produtividades. Uma série de experimentos realizados em diferentes condições concluíram que a produtividade é máxima em uma ampla faixa de saturações da CTC e relações Ca:Mg, como mostra a revisão de Rehm (1994), Kelling; Petters (2004) e Kopittke; Menzies (2007).

Entretanto, a observação mais freqüente entre os diferentes estudos é que o aumento das relações Ca:Mg causa a diminuição na absorção de Mg e vice-versa, mantendo a idéia de que o excesso de um pode causar a deficiência do outro. No Brasil, vários trabalhos realizados em casa de vegetação mostram que pequenas variações da proporção nos teores de Ca e Mg do solo provocam alterações consideráveis nos teores destes cátions no tecido das plantas (SILVA, 1980; MELLO, 1986; OLIVEIRA, 1993; MUNHOZ HERNANDEZ; SILVEIRA, 1998; GOMES et al. 2002; MEDEIROS et al., 2008; e ESTUDO I). Estes resultados dão a impressão que a interação existente entre Ca e Mg seja forte e que a aplicação de calcários com relação Ca:Mg muito estreitas ou muito amplas, possam causar problemas nutricionais nas plantas e até diminuir a produtividade.

Entretanto, são poucos os trabalhos realizados em condições de campo. Com isso, pressupõem-se que o impacto da aplicação de calcário calcítico ou dolomítico nos teores de Ca e Mg de solos pode não ser grande e as condições de casa de vegetação podem estar superestimando a interação entre estes cátions. Assim, ainda persiste a idéia que a alteração da relação Ca:Mg do solo resultante da aplicação de calcário dolomítico ou calcítico pode diminuir a produtividade das culturas. Em alguns casos esses resultados têm servido de argumento de venda, mesmo que a interação entre estes cátions na maioria dos estudos tenha apresentado baixa relevância agrônômica. Por isso, se faz necessário estudos em condições de campo para melhor avaliar se a interação entre Ca e Mg pode prejudicar o estado nutricional de culturas, gerando dados que possam auxiliar na recomendação de calcário.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações resultantes da aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nos teores trocáveis de cálcio e magnésio de solos e verificar seus efeitos na nutrição mineral de plantas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em três experimentos de campo instalados em outubro de 2004. O primeiro na Cooperativa Triticola Santo Ângelo Ltda. (COTRISA), em Santo Ângelo (SA), RS, coordenadas geográficas 28° 15' 59"S 54° 13' 51" O, num solo Latossolo Vermelho distroférico típico, sob sistema de plantio direto (SPD) consolidado. O segundo na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP/CCGL), em Cruz Alta (CA), RS,

coordenadas geográficas 28° 37' 01''S 53° 40' 25''O, num solo Latossolo Vermelho distrófico típico, sob SPD consolidado e o terceiro no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria (SM), RS, coordenadas geográficas 29° 43' 13''S 53° 42' 13''O, num solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (Embrapa, 2006), sob campo nativo até a instalação do experimento. Os atributos dos solos (TEDESCO et al., 1995) das camadas de 0-10 e 10-20 cm, antes da instalação dos experimentos são apresentados na tabela II.1.

Tabela II.1 - Atributos químicos e físicos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, dos solos em Cruz Alta, Santo Ângelo e Santa Maria.

Local	Camada	Argila	MO	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	V	m	P	K ⁺
	cm	g kg ⁻¹		1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----		--mg dm ³ --	
Cruz Alta	0-10	790	29	5,0	3,6	1,7	1,6	32	19	15,3	120
	10-20	810	23	4,7	2,8	1,4	1,4	40	26	11,8	84
Santo Ângelo	0-10	880	32	5,1	3,7	1,8	0,7	47	10	17,1	276
	10-20	620	23	5,0	3,3	1,6	1,9	30	31	8,4	124
Santa Maria	0-10	150	17	5,3	1,6	1,0	1,3	50	46	6,0	69
	10-20	190	10	4,9	1,3	0,8	1,8	39	37	1,5	28

Tabela extraída de Holzschuh (2006).

Os tratamentos consistiram-se de uma testemunha, sem calagem, e da aplicação do calcário calcítico, dolomítico e misturas em doses estimadas pelo método SMP e suficientes para elevar o pH em água a 6,0 (CQFS-RS/SC, 2004). Os calcários utilizados apresentavam as seguintes composições: calcítico 45% de CaO, 1,5% de MgO, PN 76% e PRNT de 64%; dolomítico 32% de CaO, 14% de MgO, PN 77% e PRNT de 70%. As misturas seguiram as seguintes proporções: calcítico 3:1 dolomítico; calcítico 1:1 dolomítico; calcítico 1:3 dolomítico. Assim, construiu-se uma relação quantitativa de Ca e Mg de 30:1, 9,1:1, 4,9:1, 3,2:1 e 2,2:1. As parcelas de 6 x 5m foram subdivididas e numa das metades houve lavração e gradagem para incorporação dos calcários e revolvimento da testemunha correspondente. A quantidade aplicada foi de 6,1 Mg ha⁻¹ para o experimento de SM e 7,5 Mg ha⁻¹ para os experimentos de CA e SA. O PRNT dos calcários foi corrigido para 100% para que todos apresentassem a mesma reatividade. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, num esquema fatorial, com 6 tratamentos, duas formas de aplicação (superficial e incorporado) e 4 repetições.

A partir da implantação, as práticas culturais adotadas corresponderam às recomendadas para o SPD. Cultivou-se soja (05/06, 06/07 e 07/08), aveia (05, 06 e 07) e trigo (08) em CA; soja (05/06 e 07/08), aveia (05, 06 e 07) e trigo (08) em SA; soja (05/06 e 07/08), aveia (05, 06), trigo (07) e canola (08) em SM. As adubações das culturas com N, P₂O₅ e K₂O foram realizadas com base nas análises anuais dos solos e seguiram a recomendação da CQFS-RS/SC (2004).

Foram avaliadas as alterações dos atributos químicos do solo resultantes da aplicação dos calcários e seus efeitos nos teores de Ca e Mg no tecido das culturas. Em abril de 2008, 42 meses após a aplicação dos tratamentos, foi realizada a amostragem do solo na camada de 0-10 cm. Depois de coletado o solo foi seco, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e preparado para as análises de pH em água, Índice SMP, Ca, Mg e Al trocáveis, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Com estes resultados foi possível calcular as relações Ca:Mg, saturações por Ca, Mg e por bases. A opção pela camada 0-10 cm foi feita porque esta é a camada recomendada para amostragem com fim de análise de solo em SPD no RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004), e também porque a elevação dos teores de Ca e Mg com a calagem superficial ou incorporada ocorrem principalmente nesta camada (CAIRES, 2003).

Os teores de Ca e Mg no tecido das plantas foram avaliados em amostras coletadas no estágio de pleno florescimento da aveia, trigo e canola, e da primeira folha completamente desenvolvida abaixo do ápice das plantas de soja. As amostras coletadas foram secas em estufa a 60° C por 72 horas, moídas e submetidas à digestão nitroperclórica (EMBRAPA, 1999). Nos extratos obtidos foi determinada a concentração de cálcio e magnésio por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), calculando-se, posteriormente, a concentração destes cátions (g kg⁻¹) na MS das plantas.

Os teores de Ca e Mg do tecido das plantas foram submetidos à análise de variância. Aplicou-se o teste de comparação de médias Tukey (p<0,05) para os calcários, suas misturas e formas de aplicação. Estabeleceu-se correlações entre os atributos químicos do solo e os teores de Ca e Mg das plantas.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os atributos químicos do solo da camada 0-10 cm, após 42 meses da aplicação dos calcários, são mostrados na tabela II.2. Os calcários calcítico, dolomítico e suas misturas foram

igualmente eficientes na elevação do pH em água, saturação por bases e neutralização do alumínio. Observa-se que os valores de pH em água variam muito pouco entre os calcários, sendo em média de 5,8, 5,9 e 5,6 para a forma de aplicação superficial e, 6,0, 6,2 e 6,0 para a forma incorporada nos experimentos de Cruz Alta (CA), Santo Ângelo (SA) e Santa Maria (SM), respectivamente. No experimento de SM, os tratamentos dolomítico e dolomítico 3:1 calcítico apresentaram pH 5,4 e pequena quantidade de alumínio (1% da CTC efetiva), o que não representa problema às plantas. A saturação por bases foi maior ou igual a 65% em todos os tratamentos, exceto nas parcelas testemunhas. Estes valores podem ser considerados não limitantes, pois estão de acordo ou muito próximos aos recomendados pela CQFS-RS/SC (2004). Assim, em todos os tratamentos com aplicação de calcário, os problemas relacionados à toxidez do Al^{+3} podem ser desconsiderados.

Tabela II.2 – Valores de pH em água, cálcio e magnésio trocáveis, saturação por alumínio, saturação por cálcio, magnésio e por bases da camada 0-10 cm, 42 meses após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou sob campo nativo (Santa Maria).

Tratamento	Forma de aplicação													
	Superficial							Incorporado						
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	m ⁽¹⁾	%Ca ⁽²⁾	%Mg ⁽²⁾	V ⁽²⁾	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	m	%Ca	%Mg	V
	1:1	-cmol _c dm ⁻³		-----%	-----%		1:1	-cmol _c dm ⁻³		-----%	-----%			
	-----Cruz Alta-----													
Calcítico	5,6	8,4	1,5	0	58	10	68	6,2	9,4	1,7	0	64	12	76
Cal 3:1 dol	5,9	7,1	1,8	0	46	17	70	5,7	7,5	1,7	0	55	12	68
Cal 1:1 dol	5,8	7,2	2,2	0	49	15	65	5,7	6,8	2,2	0	51	16	67
Dol 3:1 calc	5,7	6,3	2,7	0	45	19	65	6,1	6,8	3,0	0	50	22	72
Dolomítico	5,9	6,2	3,5	0	44	26	70	6,2	6,0	3,7	0	47	29	76
Testemunha	4,8	2,9	1,5	17	20	9	29	4,9	3,2	1,7	19	24	12	36
	-----Santo Ângelo-----													
Calcítico	6,0	8,7	1,5	0	62	10	72	6,3	9,7	1,6	0	68	11	79
Cal 3:1 dol	5,8	8,0	1,7	0	56	12	68	6,3	9,3	2,1	0	64	15	79
Cal 1:1 dol	5,9	7,8	2,4	0	54	17	71	6,2	9,0	2,6	0	61	17	79
Dol 3:1 calc	6,0	7,4	3,0	0	50	20	71	6,2	7,7	2,9	0	54	20	74
Dolomítico	5,9	7,0	3,4	0	47	23	70	6,2	6,8	4,0	0	49	29	78
Testemunha	4,9	3,3	1,4	29	19	8	27	5,0	3,9	1,6	20	25	11	36
	-----Santa Maria-----													
Calcítico	5,7	6,3	0,8	0	67	8	75	6,0	6,6	0,9	0	72	10	80
Cal 3:1 dol	5,8	6,5	1,1	0	66	11	77	6,2	6,7	1,2	0	69	12	81
Cal 1:1 dol	5,5	5,1	1,0	0	55	11	66	6,2	6,3	1,5	0	65	16	81
Dol 3:1 calc	5,4	4,9	1,8	1	50	18	68	5,8	5,3	1,8	0	55	19	74
Dolomítico	5,4	4,8	2,0	1	48	20	68	6,0	5,3	2,1	0	57	23	80
Testemunha	4,3	1,3	0,6	48	15	7	23	4,3	1,7	0,6	46	20	7	27

⁽¹⁾Saturação da CTC efetiva; ⁽²⁾Saturação da CTC pH 7.

Embora os calcários utilizados apresentassem em sua composição valores diferentes de Ca e, principalmente, de Mg, a variação dos teores destes cátions na camada superficial dos solos foi pequena em todos tratamentos com aplicação do corretivo. Nas parcelas onde os corretivos foram incorporados, o calcário calcítico apresentou na camada 0-10 cm 3,4, 2,9 e 1,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a mais de Ca e 2,0, 2,4 e 1,2 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ a menos de Mg que o calcário dolomítico, para os experimentos de CA, SA e SM, respectivamente. Quando aplicado na forma superficial os teores foram mais baixos, comparado ao incorporado. Como as maiores concentrações se encontram nos primeiros 5 cm (Estudo III) e a amostragem foi de 0-10 cm, é possível que a preparação das amostras para análise provocasse um efeito de diluição, ou mesmo reação desses cátions com a fração de solo com teores menores destes, e esses resultados podem não ser representativos para a situação real no perfil do campo, como de resto acontece em qualquer situação similar. Mesmo assim, esses valores representam um aumento em relação à testemunha de, aproximadamente, 2 a 3 vezes nos teores de Ca e de 1 a 3 vezes nos teores de Mg trocáveis da camada amostrada para os experimentos de CA e SA, respectivamente (Tabela II.2). No experimento de SM, cujo solo nunca havia recebido calcário, os incrementos nos teores destes cátions foram maiores, apresentando até 5 vezes mais Ca e 3,5 vezes mais Mg. Nos experimentos de CA e SA, mesmo com uma dose maior de calcário, as alterações dos teores trocáveis destes cátions foram menores que no experimento de SM. Estes dados mostram que as alterações dos teores de Ca e Mg trocáveis provocadas pela aplicação de calcário dependem da dose aplicada e da quantidade destes cátions já existentes no solo. Por isso, a magnitude das alterações variam entre diferentes solos.

Utilizando-se a CTC a pH 7 como referência, pode-se perceber que as alterações foram maiores nas saturações por Mg (Tabela II.2). Com a aplicação de calcário dolomítico, as saturações da CTC por Mg foram de 26 e 29% em CA, 23 e 29% em SA e, 20 e 23% em SM para a aplicação superficial e incorporada respectivamente. O calcário calcítico não diminuiu a saturação da CTC por Mg, como era esperado, tanto no experimento de CA como em SA, uma vez que a relação quantitativa no corretivo era de 30:1, e mesmo assim proporcionou um pequeno incremento na saturação de Mg (7 para 10%), no experimento de SM. Em todos os experimentos, a aplicação de calcário calcítico manteve-se em, aproximadamente, 10% as saturações por Mg.

As saturações da CTC por Ca aumentaram com a adição de calcário calcítico. Porém, os valores são apenas um pouco maiores que os obtidos pela aplicação de calcário dolomítico. Nas

parcelas com aplicação superficial, a saturação por Ca foi de 58, 62, 67% com a aplicação de calcário calcítico e 44, 47 e 48% com o dolomítico nos experimentos de CA, SA e SM, respectivamente. Assim, o uso dos diferentes calcários resultou em alteração da relação Ca:Mg do solo. A aplicação de calcário calcítico aumentou de, aproximadamente, 2,0 para mais de 6,0 a relação Ca:Mg nos experimentos de CA e SA; Já em SM, esta relação foi de até 8,3, com a aplicação superficial e 6,8 com a aplicação incorporada, que podem ser consideradas pequenas, tendo em vista que a relação quantitativa do calcário era de 30:1. O uso do calcário dolomítico praticamente não alterou a relação Ca:Mg dos solos que era de, aproximadamente, 2:1, mesmo que essa misturas apresentassem relações que variaram de 2:1 até 8:1. Relações Ca:Mg maiores que 1:1 são consideradas condições ótimas para o crescimento de plantas não adaptadas a solos derivados de rochas ultramáficas (ASEMANEH, 2007), onde por condições naturais há excesso de Mg e teores limitantes de Ca.

As alterações dos atributos químicos dos solos relacionados a Ca e Mg, provocados pela aplicação dos calcários, tiveram pouco efeito sobre a nutrição das plantas, pois os teores de Ca e Mg do tecido foram muito similares (Tabelas II.4, II.5 e II.6). Em geral, observa-se apenas que os teores de Ca são um pouco maiores nos tratamentos com maior proporção de calcário calcítico; e os teores de Mg são maiores nos tratamentos com aplicação de calcário dolomítico. Para a soja, trigo e aveia, em todos os tratamentos, inclusive as testemunhas, os teores de Ca e Mg no tecido estão dentro dos níveis considerados normais para estas culturas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997, CQFS-RS/SC, 2004). Na cultura da canola verifica-se a mesma tendência das demais culturas.

As pequenas variações nos teores de Ca e Mg no tecido das plantas, na maioria dos casos não significativas, não estão de acordo com obtidos por Silva (1980), Mello (1986), Oliveira (1993), Munhoz Hernandez; Silveira (1998), Moreira et al. (1999), Gomes et al. (2002), Medeiros et al. (2008) e com os dados obtidos no Estudo I. Em todos estes trabalhos foram observadas alterações maiores e significativas nos teores de Ca e Mg no tecido de diversas culturas, quando cultivadas em solo com variações nas relações Ca:Mg do solo, em experimentos realizados em casa de vegetação. Os dados obtidos neste experimento confirmam os obtidos por Holzschuh (2007), com a cultura da aveia (inverno 2005) e soja (safra 2005/2006), cultivadas nos mesmos experimentos do presente trabalho. A grande similaridade existente entre os teores no tecido das plantas cultivadas a campo e a discordância dos efeitos ou da intensidade da relação Ca:Mg do

presente trabalho com outros realizados em casa de vegetação, possivelmente estão ligados a dois fatores: primeiro, pela diferença na magnitude dos suprimentos destes cátions às plantas devido às diferentes condições experimentais; segundo, à baixa intensidade na competitividade entre o Ca e Mg.

Tabela II.3 - Teores (g kg^{-1} de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e trigo (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistema de plantio direto consolidado – Cruz Alta.

Tratamentos	Aveia (2007)		Soja (2007/2008)		Trigo (2008)	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
-----Superficial-----						
Calcítico	4,4 ab	1,8 a	9,7 a	3,8 a	1,5 a	1,4 a
Cal 3:1 dol	4,7 a	1,8 a	10,3 a	4,0 a	1,6 a	1,6 a
Cal 1:1 dol	4,0 ab	1,8 a	10,0 a	4,1 a	1,4 a	1,5 a
Dol 3:1 calc	4,0 ab	1,9 a	10,2 a	4,4 a	1,4 a	1,6 a
Dolomítico	3,6 b	1,9 a	9,6 a	4,3 a	1,3 a	1,5 a
Testemunha	3,8 ab	2,1 a	9,0 a	4,3 a	1,5 a	1,6 a
CV, %	9,60	9,52	10,42	10,68	15,32	18,71
-----Incorporado-----						
Calcítico	4,2 a	1,8 b	10,7 ab	3,8 b	1,6 a	1,6 a
Cal 3:1 dol	4,2 a	1,8 ab	11,4 a	4,2 ab	1,7 a	1,5 a
Cal 1:1 dol	4,1 a	1,9 ab	11,2 ab	4,3 ab	1,5 a	1,6 a
Dol 3:1 calc	3,5 a	1,9 ab	10,7 ab	4,7 a	1,4 a	1,6 a
Dolomítico	4,1 a	2,2 a	9,7 bc	4,3 ab	1,5 a	2,0 a
Testemunha	3,4 a	1,7 b	8,5 c	3,8 b	1,3 a	1,4 a
CV, %	13,40	9,17	6,98	8,46	16,23	10,26

⁽¹⁾ g kg^{-1} de tecido; ⁽²⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05).

Estudos têm mostrado que o fluxo de massa é o principal mecanismo envolvido no suprimento de Ca e Mg no solo e é efetivo quando se aproxima das raízes quantidades maiores que às absorvidas pela planta (AL-ABBAS; BARBER, 1963; VARGAS et al., 1983; RUIZ et al., 1999). Assim, sempre haverá suficiente e equivalente disponibilidade na superfície da raiz e a absorção dependerá mais da demanda da planta do que da capacidade de oferta do solo. A quantidade suprida por este mecanismo depende do volume de água transpirada pela planta e da concentração da solução do solo (MALAVOLTA, 1980; AL-ABBAS; BARBER, 1963; VARGAS et al., 1983; RUIZ et al., 1999). O volume de água transpirada varia bastante entre

espécies de plantas e é influenciada por uma série de fatores ambientais e fisiológicos, portanto, depende uma série de variáveis. Por isso, as concentrações da solução do solo é o fator mais importante no suprimento de Ca e Mg às plantas.

Tabela II.4 - Teores (g kg⁻¹ de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e trigo (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema de plantio direto consolidado – Santo Ângelo.

Tratamentos	Aveia (2007)		Soja (2007/2008)		Trigo (2008)	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
-----Superficial-----						
Calcítico	6,0 a ⁽¹⁾	2,3 b	8,8 a	4,6 a	1,3 a	0,8 a
Cal 3:1 dol	6,0 a	2,2 b	8,5 a	4,6 a	1,3 a	1,0 a
Cal 1:1 dol	5,8 a	2,4 ab	8,0 a	4,5 a	1,3 a	0,9 a
Dol 3:1 calc	5,3 a	2,5 ab	8,4 a	4,8 a	1,4 a	1,0 a
Dolomítico	5,3 a	2,6 a	8,4 a	5,2 a	1,1 a	0,9 a
Testemunha	5,1 a	2,5 ab	7,8 a	4,7 a	1,1 a	0,9 a
CV, %	10,05	5,87	6,18	7,88	20,85	18,56
-----Incorporado-----						
Calcítico	6,6 a	2,4 a	10,0 a	5,4 a	1,6 a	1,0 a
Cal 3:1 dol	5,8 a	2,3 a	9,9 a	5,2 a	1,4 a	0,9 a
Cal 1:1 dol	6,0 a	2,6 a	9,4 a	5,4 a	1,4 a	0,9 a
Dol 3:1 calc	5,8 a	2,6 a	9,4 a	5,6 a	1,5 a	1,1 a
Dolomítico	6,2 a	2,9 a	9,7 a	6,1 a	1,3 a	1,1 a
Testemunha	5,2 a	2,5 a	8,9 a	5,3 a	1,0 a	0,8 a
CV, %	11,02	10,76	9,00	8,87	16,43	16,86

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05).

A alteração dos teores de Ca e Mg da fase sólida do solo alteram também a concentração destes na solução, resultando na diminuição ou aumento da magnitude do suprimento destes cátions às raízes das plantas, como observado no estudo I. Naquele estudo, realizado em casa de vegetação, pode-se verificar que as maiores produções foram obtidas quando o solo manteve-se em solução concentrações de Ca e Mg suficientes para atender a demanda das plantas por fluxo de massa, durante todo crescimento vegetativo. A difusão de Mg, que esteve associada com as menores produções de MS de soja, ocorreu devido à rápida depleção da solução do solo, cujo motivo principal foi a grande densidade de raízes e volume de solo limitado. Este caso indica que grande parte das alterações dos teores de Ca e Mg no tecido das plantas observados em experimentos realizados em casa de vegetação, podem ser resultantes de um suprimento pelo

mecanismo principal insuficiente e pode estar sendo interpretado como relação antagonica entre Ca e Mg.

Tabela II.5 – Teores (g kg^{-1} de tecido) de cálcio e magnésio no tecido da soja (folhas), aveia e canola (parte aérea) em função da aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial e incorporada em um Argissolo Vermelho distrófico arênico sob campo nativo – Santa Maria.

Tratamentos	Aveia (2007)		Soja (2007/2008)		Canola (2008)	
	Ca	Mg ¹⁾	Ca	Mg	Ca	Mg
-----Superficial-----						
Calcítico	2,9 ^{a(1)}	1,3 a	11,1 a	4,5 ab	13,7 a	3,3 b
Cal 3:1 dol	2,9 a	1,5 a	8,3 b	4,0 b	12,1 a	3,3 b
Cal 1:1 dol	2,9 a	1,4 a	9,7 ab	4,6 ab	13,7 a	3,6 b
Dol 3:1 calc	2,6 a	1,5 a	9,3 ab	4,8 a	12,8 a	4,1 ab
Dolomítico	2,6 a	1,6 a	9,2 ab	4,6 ab	12,8 a	4,7 a
Testemunha	2,4 a	1,5 a	7,8 b	4,7 a	7,6 b	3,5 b
CV, %	14,62	12,59	9,72	6,24	12,89	11,21
-----Incorporado-----						
Calcítico	2,5 a	1,2 b	11,1 a	4,2 a	13,4 a	3,4 ab
Cal 3:1 dol	2,5 a	1,2 b	11,4 a	4,5 a	11,9 a	3,1 ab
Cal 1:1 dol	2,5 a	1,4 ab	10,6 a	4,6 a	13,5 a	3,9 ab
Dol 3:1 calc	2,4 a	1,4 ab	10,1 ab	4,7 a	11,4 ab	3,7 ab
Dolomítico	2,4 a	1,6 a	10,2 ab	5,1 a	11,5 ab	4,2 a
Testemunha	2,1 a	1,2 b	8,7 b	4,4 a	8,3 b	3,1 b
CV, %	10,32	9,87	7,94	10,77	12,46	13,69

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

Em experimentos de campo, devido a maior quantidade de solo disponível para as plantas, é bastante provável que as concentrações de Ca e Mg na solução do solo sejam pouco alteradas durante o desenvolvimento das culturas; e teores trocáveis menores que os utilizados em casa de vegetação podem suprir adequadamente a demanda das culturas. Por estes motivos, os teores de Ca e Mg e relações Ca:Mg considerados limitantes em casa de vegetação poderão não representar problemas a campo.

A baixa correlação existente entre os atributos químicos do solo ligados aos teores de Ca e Mg com os teores destes cátions nas plantas (Tabelas II.5), indica que a relação Ca:Mg do solo e/ou tipo de calcário apresenta baixo potencial de causar problemas a produtividade das culturas. Os teores de Ca no tecido das plantas apresentaram uma correlação positiva e fraca com seus teores trocáveis no solo, saturação da CTC por Ca, por bases e relação Ca:Mg. De forma similar,

o teor de Mg no tecido das plantas apresentou correlação positiva e fraca com seus atributos no solo; exceto com a relação Ca:Mg, onde a correlação foi negativa, porém fraca. Pode-se verificar também que as variações dos teores de Ca trocáveis não possuem relação com os teores de Mg no tecido das plantas e vice-versa. Neste caso, o aumento da disponibilidade destes cátions no solo é o principal motivo da pequena variação observada em alguns tratamentos.

Tabela II.6 - Coeficientes de correlação simples de Pearson entre os atributos químicos do solo (camada 0-10 cm) 42 meses após a aplicação de proporções da calcário calcítico e dolomítico e teores de cálcio e magnésio das folhas de soja e parte aérea de trigo cultivados sob sistema de plantio direto.

Atributo químico do solo	Soja		Trigo	
	Ca	Mg	Ca	Mg
-----Cruz Alta-----				
Saturações por bases	0,31	0,14	0,09	0,27
Ca trocável	0,32	-0,03	0,21	0,06
Mg trocável	<0,01	0,22	-0,15	0,36
Saturação por Ca	0,35	0,04	0,18	0,14
Saturação por Mg	0,03	0,25	-0,16	0,39
Relação Ca:Mg	0,23	-0,13	0,30	-0,13
-----Santo Ângelo-----				
Saturações por bases	0,34	0,15	0,31	0,17
Ca trocável	0,28	-0,02	0,34	0,11
Mg trocável	0,08	0,30	-0,02	0,22
Saturação por Ca	0,33	0,03	0,35	0,10
Saturação por Mg	0,14	0,35	-0,00	0,23
Relação Ca:Mg	0,15	-0,21	0,28	-0,11
-----Santa Maria-----				
Saturações por bases	0,53	-0,01	0,31	0,00
Ca trocável	0,47	-0,15	0,38	-0,07
Mg trocável	0,04	0,22	0,02	0,44
Saturação por Ca	0,56	-0,10	0,34	-0,13
Saturação por Mg	0,09	0,29	-0,01	0,44
Relação Ca:Mg	0,45	-0,26	0,30	-0,39

Por outro lado, a pequena variação dos teores de Ca e Mg nas plantas mesmo com o aumento da disponibilidade destes nutrientes no solo sugere fortemente a existência de mecanismos que regulam sua absorção. O Ca e o Mg, além de possuírem funções estruturais, atuam como ativadores enzimáticos e na tradução de sinais; por isso, as células apresentam mecanismos para o controle de sua atividade (TAIZ; ZIEGER, 1998). A existência de

mecanismos de controle na absorção já foi sugerido por Barber (1970) que observou acúmulo de Ca na superfície radicular.

Pelo exposto, sugere-se que basta apenas manter teores de Ca e Mg no solo suficientes para um suprimento adequado das plantas, uma vez que a interação Ca:Mg pode ser de baixa intensidade e dificilmente deverá interferir na produtividade das culturas.

4.4 CONCLUSÕES

A aplicação de calcário calcítico, dolomítico e suas misturas promovem alterações nos teores de cálcio e magnésio do solo, mas não afetam as suas relações nas plantas, por isso não provocam problemas nutricionais.

Quando os teores de cálcio e magnésio do solo são suficientes, a interação entre estes dois cátions na absorção pela planta é de baixa importância.

5 ESTUDO III

EFICIÊNCIA DE CALCÁRIOS CALCÍTICO E DOLOMÍTICO NA CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E RESPOSTA DE CULTURAS À CALAGEM EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

RESUMO

Os calcários calcítico e dolomítico podem apresentar diferentes eficiências de correção da acidez do solo, afetando a produtividade das culturas. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de calcários calcítico e dolomítico com aplicação superficial e incorporada na correção da acidez de solos e na produtividade de culturas em sistema de plantio direto. Em outubro do ano de 2004, foram instalados três experimentos de campo em diferentes regiões fisiográficas do Estado do Rio Grande do Sul (RS), conduzidos sob Sistema Plantio Direto (SPD) e cultivados com aveia, trigo, soja e canola. Os tratamentos consistiram da aplicação de calcário calcítico, dolomítico ou suas misturas, em doses suficientes para elevar o pH em água a 6, estimada pelo método SMP. Foram utilizadas as seguintes proporções: calcítico (puro); calcítico 3:1 dolomítico; calcítico 1:1 dolomítico; dolomítico 3:1 calcítico; dolomítico (puro) e testemunha (sem calcário), aplicados em superfície ou incorporados por lavração e gradagem. Foram determinados os teores trocáveis de Ca, Mg e Al, pH em água, saturação por bases e por alumínio de amostras de solo coletadas, após 42 meses da aplicação, nas camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Avaliou-se também a produção de matéria seca de aveia preta, rendimento de grãos de soja, trigo e canola. Os resultados mostram que os calcários calcítico, dolomítico e suas misturas são igualmente eficientes na correção da acidez do solo e proporcionam a mesma produtividade das culturas. A incorporação do corretivo ao solo aumenta a eficiência da correção da acidez, mas não se reflete em diferenças substanciais na produtividade das culturas. A aplicação superficial de calcário neutraliza o alumínio trocável apenas até a camada 0-5 cm, mesmo após 42 meses da aplicação.

Palavras-chave: formas de aplicação, reaplicação de calcário, campo nativo.

5.1 INTRODUÇÃO

A acidez de solos é responsável por muitas reações químicas e biológicas que controlam a disponibilidade de nutrientes e a presença de elementos tóxicos, especialmente o alumínio, cuja ação é exacerbada pela sensibilidade da maioria das plantas cultivadas às pequenas concentrações de suas espécies fitotóxicas na solução do solo (BROWN et al., 2008). Por isso, a calagem é uma prática essencial para a incorporação de solos ácidos ao sistema produtivo e também é recomendada para solos reacidificados pelo uso na agricultura.

Os corretivos da acidez do solo mais comumente utilizados são os calcários agrícolas, principalmente pela sua abundância na natureza, facilidade de extração e uso, baixo custo e resultados agrônômicos satisfatórios. Conforme a legislação brasileira, os calcários são classificados em dois tipos: calcíticos quando o teor de óxido de magnésio é menor que 5% e dolomíticos, quando o teor de MgO é maior ou igual a 5% (BRASIL, 2004). Mesmo sendo classificados pelo teor de MgO, o poder neutralizante do calcário deve-se aos sais carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de Mg (MgCO_3) contidos na calcita (CaCO_3) e na dolomita ($(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$), mas a sua eficiência é fortemente influenciada pelo grau de moagem a que é submetido (PANDOLFO; TEDESCO, 1996). Assim, associando-se a distribuição granulométrica à composição, define-se o seu poder relativo de neutralização total (PRNT) no solo (ALCARDE; RODELLA, 2003).

Na instalação do SPD recomenda-se incorporação do corretivo até 20 cm de profundidade, mas quando já instalado e, portanto, com correção da acidez anterior, a sua reaplicação, quando necessária, é estabelecida por parâmetros previamente definidos e pode ser feita pela simples distribuição uniforme na superfície da área cultivada, conforme recomendado pela CQFS-RS/SC (2004). Como a aplicação superficial proporciona menor contato entre as partículas de solo e corretivo, comparativamente à aplicação incorporada, as reações de dissolução devem ocorrer basicamente na superfície do solo. Assim, seus efeitos são observados a partir da superfície para as camadas mais subsuperficiais, o que constitui a 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).

Pottker (1998) 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. Já 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 experimento conduzido em um Argissolo Acinzentado distrófico plíntico, 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. Estes resultados mostram que a aplicação superficial de calcário não é eficiente na correção da acidez do solo em profundidade, gerando dúvidas quanto à eficiência agrônômica desta forma de aplicação. Por outro lado, a incorporação do corretivo ao solo pode melhorar consideravelmente a neutralização da acidez, mas implica em maiores custos, destruição da estrutura do solo, aumento da susceptibilidade à erosão, o que pode comprometer a viabilidade desta prática.

Com relação aos efeitos da calagem sobre a produtividade das culturas, há estreita relação desta com as alterações que são promovidas no solo, como o aumento da disponibilidade de nutrientes a neutralização dos elementos tóxicos e a conseqüente melhoria das condições para o crescimento radicular, além dos efeitos sobre os microrganismos que controlam as reações de mineralização dos compostos nitrogenados e de enxofre e a fixação de nitrogênio. Assim, ela é tanto mais eficiente quanto mais facilita a utilização dos nutrientes.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de calcários calcítico e dolomítico com aplicação superficial e incorporada na correção da acidez de solos e na produtividade de culturas em sistema de plantio direto.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em três experimentos de campo instalados em outubro de 2004. O primeiro na Cooperativa Tríticola Santo Ângelo Ltda. (COTRISA), em Santo Ângelo (SA), RS, coordenadas geográficas 28° 15' 59"S 54° 13' 51" O, num solo Latossolo Vermelho distroférrico típico, sob sistema de plantio direto (SPD) consolidado. O segundo na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP/CCGL), em Cruz Alta (CA), RS, coordenadas geográficas 28° 37' 01"S 53° 40' 25"O, num solo Latossolo Vermelho distrófico

típico, sob SPD consolidado e o terceiro no Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria (SM), RS, coordenadas geográficas 29° 43' 13''S 53° 42' 13''O, num solo Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006), sob campo nativo até a instalação do experimento. Os atributos dos solos (TEDESCO et al., 1995) das camadas de 0-10 e 10-20 cm, antes da instalação dos experimentos são apresentados na tabela III.1.

Tabela III.1 - Atributos químicos e físicos, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, dos solos em Cruz Alta, Santo Ângelo e Santa Maria.

Local	Camada	Argila	MO	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	V	m	P	K ⁺
	cm	g kg ⁻¹		1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----		--mg dm ³ --	
Cruz Alta	0-10	790	29	5,0	3,6	1,7	1,6	32	19	15,3	120
	10-20	810	23	4,7	2,8	1,4	1,4	40	26	11,8	84
Santo Ângelo	0-10	880	32	5,1	3,7	1,8	0,7	47	10	17,1	276
	10-20	620	23	5,0	3,3	1,6	1,9	30	31	8,4	124
Santa Maria	0-10	150	17	5,3	1,6	1,0	1,3	50	46	6,0	69
	10-20	190	10	4,9	1,3	0,8	1,8	39	37	1,5	28

Tabela extraída de Holzschuh (2006).

Os tratamentos consistiram-se de uma testemunha sem calagem e da aplicação dos calcários calcítico, dolomítico e suas misturas, em doses estimadas pelo método SMP e suficientes para elevar o pH em água a 6 (CQFS-RS/SC, 2004). Os calcários utilizados apresentavam as seguintes composições: calcítico com 45% de CaO, 1,5% de MgO, PN 76% e PRNT de 64%; dolomítico com 32% de CaO, 14% de MgO, PN 77% e PRNT de 70%. As misturas seguiram as seguintes proporções: calcítico 3:1 dolomítico; calcítico 1:1 dolomítico; calcítico 1:3 dolomítico. Assim, construiu-se uma relação quantitativa de Ca e Mg de 30:1, 9,1:1, 4,9:1, 3,2:1 e 2,2:1. Nas parcelas de 6 x 5m foram aplicados os corretivos da acidez em superfície e incorporados, para cada corretivo correspondente, por lavração e gradagem bem como da testemunha correspondente. A quantidade aplicada foi de 6,1 Mg ha⁻¹ para o experimento de SM e 7,5 para os experimentos de CA e SA. O PRNT dos calcários foi corrigido para 100% para que todos apresentassem a mesma reatividade. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, num esquema fatorial, com 6 tratamentos, duas formas de aplicação (superficial e incorporada) e 4 repetições.

A partir da implantação, as práticas culturais adotadas corresponderam às recomendadas para o SPD. Cultivou-se soja (05/06, 06/07 e 07/08), aveia (05, 06 e 07) e trigo (08) em CA; soja

(05/06 e 07/08), aveia (05, 06 e 07) e trigo (08) em SA; soja (05/06 e 07/08), aveia (05, 06), trigo (07) e canola (08) em SM. As adubações das culturas com N, P₂O₅ e K₂O foram realizadas com base na análises anual dos solos e seguiram a recomendação da CQFS-RS/SC (2004).

Determinou-se os rendimentos de grãos de soja, trigo e canola e a produção de matéria seca (MS) da aveia em pleno florescimento. As produções de grãos foram ajustadas ao teor de umidade de 13% e a MS de aveia seca a 60°C por 72 horas. Os dados de produção acumulada de soja foram obtidos pelo somatório das produtividades nos diferentes cultivos.

Em junho de 2008, 42 meses depois da aplicação dos tratamentos, foram coletadas amostras de todas as parcelas, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. O solo foi seco, moído, passado em peneira com malha de 2 mm e preparado para as análises de pH em água, Índice SMP, Ca, Mg e Al trocáveis, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Com estes resultados foi possível calcular a saturação por bases e por alumínio.

Os valores de rendimento de grãos de soja, trigo e canola e de produção de matéria seca (MS) de aveia e atributos químicos do solo foram submetidos à análise de variância, e, quando significativos, foram submetidos ao teste de comparação de médias Tukey para os dados de produções de grão e MS e Diferença Mínima Significativa (DMS) para os atributos de solo.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alteração dos atributos químicos do solo

Os calcários calcítico, dolomítico ou suas misturas apresentaram a mesma eficiência na correção da acidez do solo nos três locais avaliados (Figuras III.1, III.2 e III.3). Observaram-se pequenas variações nos valores de pH, na saturação por bases e na saturação por alumínio entre os calcários, principalmente no modo de aplicação incorporado. Estas diferenças estão visivelmente ligadas à variabilidade horizontal natural previamente existente e na variabilidade vertical devido à distribuição do corretivo resultante da lavração e da gradagem, que alcançou a profundidade entre 10 a 15 cm. Além disso, as diferenças nesses valores em cada camada analisada não têm relevância agrônômica, por isso elas podem ser consideradas ocasionais. Como o Poder de Neutralização (PN) e Granulometria foram corretamente ajustadas pelo cálculo do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT), todas as proporções de calcário utilizadas tiveram um poder equivalente na neutralização da acidez do solo.

A menor solubilidade em água do carbonato de cálcio ($0,014 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C) quando comparado ao carbonato de magnésio ($0,106 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C) (ALCARDE; RODELLA, 2003), não causaram diferenças significantes na reatividade no solo, após 42 meses da aplicação. A maior estabilidade da dolomita em relação à calcita (BARBER, 1984) não interferiu significativamente na dissolução do calcário no solo. Bellingieri; Alcarde (1988) verificaram que, quando aplicados em dose equivalente a CaCO_3 puro, os calcários com diferentes equivalentes em óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) tiveram a mesma eficiência na correção da acidez em três solos diferentes.

Considerando valores recomendados pela CQFS-RS/SC (2004), $\text{pH} \geq 5,5$, saturação por bases de $\geq 65\%$ e saturação por alumínio $< 10\%$, a aplicação superficial de calcário foi eficiente apenas na camada 0-5 cm, onde os valores de pH em água foram maiores que 6,3 para todos os tratamentos com aplicação de calcário, nos três locais avaliados (Figura III.1). Na camada 5-10 cm, o pH em água atingiu valores médios de 5,3 nos experimento de CA e SA e 5,0 em SM, o que pode ser considerado satisfatório, pois a estes valores boa parte do alumínio nocivo é neutralizado. Nas demais camadas avaliadas (10-15 e 15-20 cm) observa-se pequenos incrementos no pH em água, porém sem relevância agrônômica (KAMINSKI et al., 2005).

A aplicação de calcário seguida de incorporação foi mais eficiente na elevação do pH em água do solo em profundidade, como já observado por Rheinheimer et al. (2000), Gatiboni et al. (2003), Kaminski et al. (2005) e Brown et al. (2008), entre outros. Nos três locais avaliados, os calcários apresentaram valores de pH maiores que 5,5 nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Na camada 10-15 cm, os valores de pH foram em média 5,3, 5,4 e 5,5 para CA, SA e SM, respectivamente, apresentando também pequeno aumento na camada 15-20 cm, com o que se pode inferir que a incorporação não atingiu essas profundidades, como se preconiza nas recomendações da calagem.

Os outros atributos relacionados com a calagem seguiram uma tendência similar. Assim, os valores de saturação por bases resultantes da aplicação superficial somente foram maiores que 65% na camada 0-5 cm e, em média, 45% na camada 5-10, nos três locais avaliados (Figura III.2). Houve também um aumento da saturação por bases nas camadas de 10-15 e 15-20 cm, resultantes de incrementos nos teores trocáveis de Ca e/ou Mg. A incorporação dos corretivos elevou a saturação por bases para mais de 65% na camada 0-10 cm, ocorrendo também um apreciável incremento nas demais camadas, nos três locais avaliados.

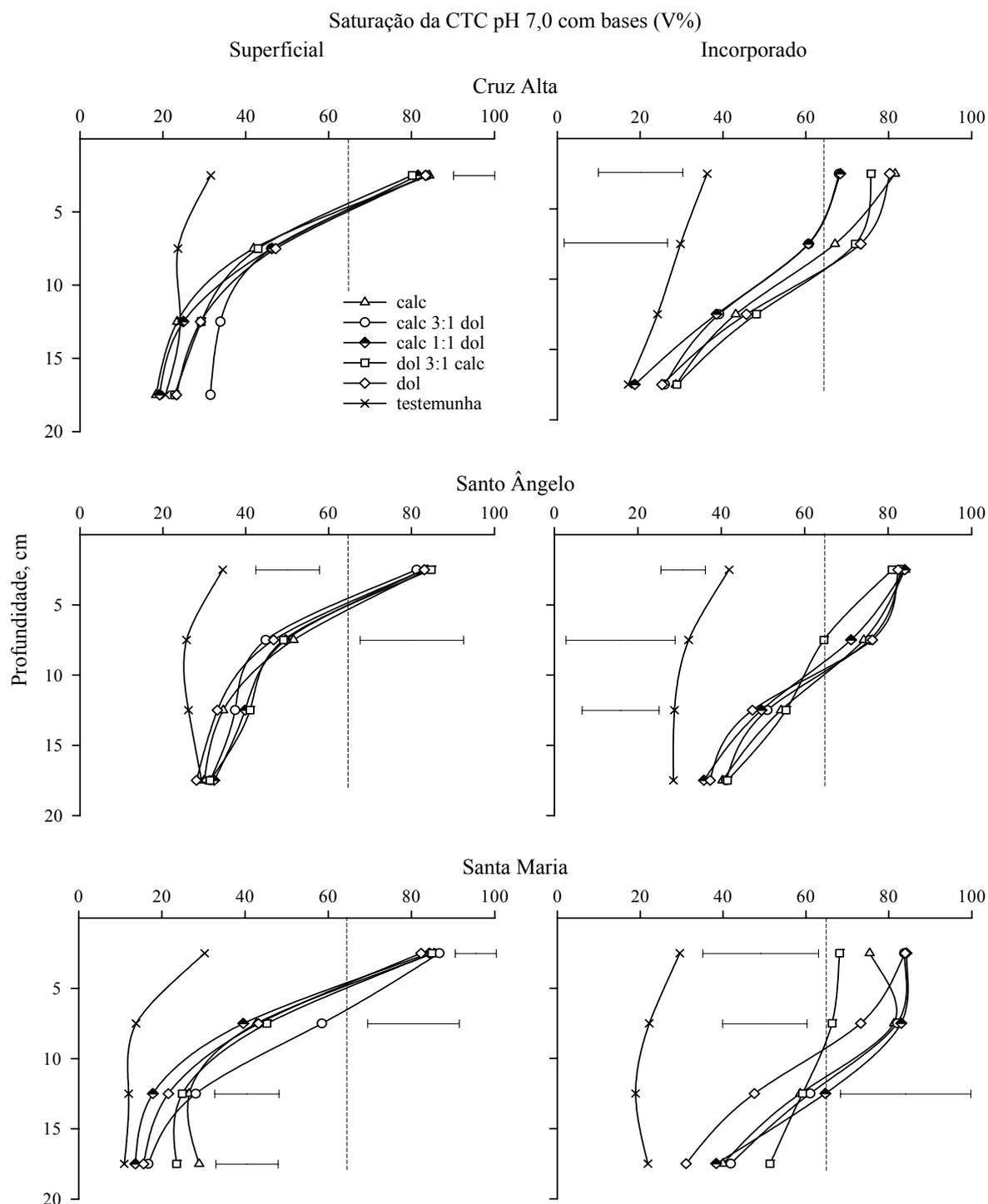


Figura III.3 – Saturação da Capacidade de Troca de Cátions pH 7 por bases 42 meses após a aplicação de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Linhas horizontais representam a diferença mínima significativa do teste de DMS (alfa=0,05). Linhas verticais tracejadas refere-se ao limite de 65% estabelecido pela CQFS-RS/SC (2004) para tomada de decisão para reaplicação de calcário.

Eficiência das formas de aplicação dos corretivos na correção da acidez do solo

Tanto na forma de aplicação superficial quanto na incorporada, não se observou diferenças na mobilidade de Ca e Mg no perfil do solo. O aumento dos teores trocáveis destes cátions em profundidade mostrou-se mais ligado à quantidade contida nos corretivos, mas não proporcionais, pois, quanto mais Ca foi adicionado, maiores foram seus teores em profundidade. O mesmo ocorre com o Mg (Apêndices I e J). Mesmo que a força de ligação com a fase sólida seja maior para o Ca que para o Mg (SPOSITO, 1989), o comportamento destes cátions quanto à mobilidade no perfil do solo foi muito similar até 42 meses da aplicação incorporada ou superficial. Fidalski; Tormena (2005), estudando o efeito de doses crescentes de calcário dolomítico aplicado em superfície num solo de textura arenosa, observaram alterações dos teores de Ca até 10 cm de profundidade, enquanto que os teores de Mg aumentaram progressivamente até 60 cm, do primeiro ao terceiro ano após a aplicação. Convém relatar que a dose máxima de calcário aplicada nesse experimento foi acima da capacidade da CTC, o que elevaria a saturação por bases a 167%, o que deve ter intensificado seus efeitos.

Comparando-se a eficiência das formas de aplicação do corretivo pela saturação de alumínio, observou-se que a calagem superficial eliminou o alumínio da camada 0-5 cm e diminuiu para menos da metade os valores originais na camada 5-10 cm, nos três locais avaliados. Em média, os valores de saturação de alumínio na camada 5-10 cm foram de 8,8 e 10,5% para CA e SM, respectivamente, e podem ser considerados não limitantes para a maioria das culturas, exceto no experimento de SM, onde ainda é maior que 20%.

Com a incorporação dos corretivos verificou-se a neutralização total do alumínio da camada 0-5 cm e valores médios de saturação por alumínio menores que 10% nas camadas de 5-10 e 10-15 cm. Também houve uma considerável diminuição da saturação por alumínio da camada 15-20 cm, sendo um pouco maior nos experimentos de SA e SM devido, provavelmente, à profundidade de incorporação.

Considerando os valores de pH em água, saturação por alumínio e por bases pré-estabelecidos pela (CQFS-RS/SC, 2004), a calagem superficial com dose suficiente para elevar o pH a 6 somente foi efetiva na camada 0-5 cm, 42 meses após a aplicação. Porém, os atributos da camada 5-10 cm, principalmente nos experimentos de CA e SA, já estavam próximos aos considerados ideais para a maioria das culturas. Estes resultados se aproximam dos obtidos por Rheinheimer et al. (2000) que, aplicando a dose de calcário na superfície do solo para elevar o pH

em água à 6, em solo com textura média, observaram a eliminação do Al trocável na camada 0-10cm, após 48 meses da aplicação. Neste mesmo experimento, outra avaliação, aos 84 meses da aplicação, detectou a neutralização do total do Al até 17,5cm de profundidade (KAMINSKI et al., 2005). Entretanto, em um solo com condições similares ao experimento de SM, usado no presente estudo, Gatiboni et al. (2003) observaram que a aplicação superficial de calcário em dose para elevar o pH em água a 6 neutralizou totalmente o Al trocável somente até 6 cm de profundidade, mesmo após 84 meses da aplicação. Já Caires et al. (2000), relata que já aos 12 meses da aplicação superficial se obteve, com dose para elevar a 90% a saturação por bases, correção da acidez na camada 0-5 cm, pH em CaCl_2 ($0,01 \text{ mol L}^{-1}$) de 5,2 e saturação por bases de 53% na camada 5-10 cm. Em outro estudo, Caires et al. (2006a) verificaram que a calagem superficial, em dose suficiente para elevar a saturação por bases para 90%, não foi efetiva abaixo dos 10 cm, após 30 meses da aplicação.

Embora esses e outros estudos apontem diferentes profundidades de correção no tempo, a constatação mais frequente é que a correção da acidez do solo pela aplicação superficial ocorre, principalmente, na camada 0-5 cm e é lenta e pouco eficiente nas camadas mais profundas, podendo apresentar alterações de alguns atributos até estatisticamente significativos, mas de pouca ou nenhuma importância agrônômica. Assim, os dados obtidos neste trabalho reforçam esta idéia e corroboram com os resultados obtidos por outros estudos que, também observaram que a neutralização total do Al se restringe à camada 0-5 cm (POTTKER; BEN, 1998; PETRERE; ANGHINONI, 2001; MOREIRA et al., 2001; AMARAL; ANGHINONI, 2001; GATIBONI et al., 2003).

Mesmo que os três solos utilizados no presente estudo apresentassem atributos físicos (teor de argila, silte e areia) distintos, a taxa da correção vertical da acidez resultante da aplicação superficial do corretivo foi similar para os solos estudados. Segundo Rheinheimer et al. (2000) e Caires et al. (2000), a calagem superficial cria uma frente de alcalinização vertical da acidez do solo, cuja taxa é proporcional à dose e ao tempo. Contudo, considerando que o tempo decorrido da aplicação e a dose de calcário foram equivalentes para os três experimentos; o solo do experimento de SM, por ser arenoso e com boa estrutura, herdada do campo nativo, deveria apresentar uma maior taxa de correção em profundidade, visto que a migração de partículas de calcário em profundidade ocorre por macroporos (AMARAL et al., 2004). No entanto, esta condição resultou em aumentos da saturação por bases em profundidade, 5-10 cm para aplicação

superficial e 10-15 cm na incorporada. O avanço da frente de alcalinização nas aplicações superficiais pode não representar migração, mas ser resultado da ação de equipamentos de semeadura, que revolvem os primeiros 5 cm para posicionar a semente.

Nos tratamentos com incorporação, a calagem foi mais efetiva em profundidade, porém, mesmo passados 42 meses da aplicação, as alterações mais relevantes se restringem à camada de 0-10 cm de profundidade. Nos três experimentos, a operação da lavração com arados de disco não atingiu a de profundidade de 20 cm como preconizado, limitando-se a uma profundidade variável entre 10 e 15 cm. Assim, o calcário foi depositado nesta camada e criou uma frente de correção da acidez que migrou para as camadas subjacentes. Por outro lado, as operações lavração e gradagem resultaram na fragmentação de agregados naturais do solo e na diluição da dose de calcário na camada revolvida. Desta forma, com menor quantidade de bioporos e menor gradiente químico, a frente alcalinizante foi menos pronunciada, o que pode explicar a baixa eficiência de correção da camada 10-20 cm. Estes dados são similares aos obtidos por Kaminski et al. (2005), que relatam maior eficiência do calcário quando incorporados ao solo, mostrando que seus efeitos foram, em média, 10 cm mais profundos que a aplicação superficial. Os dados deste trabalho corroboram com resultados obtidos em outros estudos, onde foi observada maior eficiência da correção do solo em profundidade, pela incorporação do corretivo (POTTKER; BEN, 1998; RHEINHEIMER et al., 2000; MOREIRA et al., 2001).

Produtividade das culturas

A resposta da maioria das culturas à calagem foi pequena ou inexistente, mesmo que a condição inicial dos experimentos indicasse a necessidade de aplicação de calcário. A cultura da aveia, reconhecidamente tolerante à acidez do solo, não apresentou aumento significativo na produção de MS em nenhum dos anos e locais avaliados, produzindo quantidade satisfatória de MS mesmo com elevada acidez do solo, como nas condições naturais do campo nativo de SM. (Tabela III.2).

A resposta da cultura do trigo à calagem foi diferente em cada experimento, estando condicionada, principalmente, pelas condições climáticas ocorridas durante os cultivos. Em SM, a menor produtividade de trigo (2007) foi obtida nas parcelas sem revolvimento e sem calagem. Esta resposta pode estar relacionada ao baixo desenvolvimento radicular, devido à boa disponibilidade de chuvas nos estádios iniciais da cultura, a concentração de nutriente na camada

superficial e a alta acidez em profundidade, característica herdada do campo nativo. Assim, quando as plantas foram submetidas a um período de baixas precipitações, ocorrida nos estádios de emborrachamento e início de floração, a disponibilidade de água e nutrientes foi menor, diminuindo a produção. Nas parcelas com incorporação, o aumento de Ca em profundidade, a menor saturação por alumínio (Figura III.2 e Apêndice I) e a maior distribuição de outros nutrientes em profundidade, podem ter estimulado o crescimento das raízes no período inicial e proporcionado uma melhor disponibilidade de água no período de estiagem.

Tabela III.2 – Produção de matéria seca de aveia e grãos de trigo e canola após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).

Cultura Safr	Modo de aplicação	Tratamentos					Test.	Média
		Calcítico	Cal 3:1 dol	Cal 1:1 dol	Dol 3:1 calc	Dolomítico		
-----Mg ha ⁻¹ -----								
Cruz Alta								
Aveia 2005 ⁽²⁾	Sup.	8,35 a ⁽¹⁾	7,60 a	8,23 a	8,02 a	7,87 a	7,35 a	7,90 A
	Inc.	8,27 a	8,15 a	8,43 a	8,44 a	7,99 a	7,41 a	8,11 A
Aveia 2007 ⁽³⁾	Sup.	5,57 a	5,22 a	6,11 a	5,42 a	4,89 a	5,33 a	5,42 A
	Inc.	5,87 a	5,85 a	5,97 a	5,95 a	5,18 a	5,05 a	5,65 A
Trigo 2008 ⁽⁴⁾	Sup.	3,56 a	3,85 a	3,77 a	3,49 a	3,66 a	3,88 a	3,70 A
	Inc.	3,61 a	3,63 a	3,63 a	3,53 a	3,49 a	3,54 a	3,57 B
Santo Ângelo								
Aveia 2005 ⁽⁵⁾	Sup.	6,87 a	6,37 a	6,62 a	5,89 a	5,58 a	5,87 a	6,20 A
	Inc.	5,17 a	5,91 a	6,06 a	6,27 a	6,15 a	5,00 a	5,76 A
Aveia 2007 ⁽⁶⁾	Sup.	6,37 a	5,67 a	5,93 a	5,58 a	5,57 a	5,77 a	5,82 A
	Inc.	5,28 a	5,44 a	5,93 a	4,90 a	5,42 a	4,99 a	5,33 A
Trigo 2008 ⁽⁷⁾	Sup.	2,81 a	2,86 a	2,97 a	2,83 a	3,12 a	2,98 a	2,93 A
	Inc.	3,27 a	3,17 a	3,21 a	2,86 a	2,98 a	2,19 b	2,95 A
Santa Maria								
Aveia 2005 ⁽⁸⁾	Sup.	6,53 a	6,30 a	5,98 a	6,34 a	7,10 a	6,19 a	6,41 A
	Inc.	6,78 a	7,67 a	5,82 a	6,24 a	6,76 a	5,85 a	6,52 A
Trigo 2006 ⁽⁹⁾	Sup.	2,35 ab	2,44 ab	2,38 ab	2,30 ab	2,49 a	2,22 b	2,40 A
	Inc.	2,40 a	2,39 a	2,41 a	2,44 a	2,38 a	2,38 a	2,36 A
Canola 2008 ⁽¹⁰⁾	Sup.	1,20 a	1,13 a	1,19 a	1,44 a	1,33 a	0,44 b	1,12 B
	Inc.	1,31 a	1,28 a	1,41 a	1,31 a	1,44 a	0,62 b	1,23 A

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); CV, %: ⁽²⁾Sup.= 11,91, Inc.=11,10; ⁽³⁾Sup.= 12,88, Inc.=18,26; ⁽⁴⁾Sup.= 5,33, Inc.=4,55; ⁽⁵⁾Sup.= 17,13, Inc.=13,03; ⁽⁶⁾Sup.= 14,11, Inc.=9,49; ⁽⁷⁾Sup.= 8,03, Inc.=8,93; ⁽⁸⁾Sup.= 13,38, Inc.=8,48; ⁽⁹⁾Sup.= 4,95, Inc.=4,85; ⁽¹⁰⁾Sup.= 15,51, Inc.=13,16; Os dados de produtividade de soja safra 2005/2006 foram extraídos de Holzschuh (2006).

No experimento de SA e CA, a alta produtividade do trigo foi resultado de uma precipitação suficiente apenas para atender a demanda das plantas e não permitiu a incidência de

doenças foliares. Contudo, em CA, as produtividades foram similares em todos os tratamentos, não havendo resposta à calagem. Entretanto, em SA, nas parcelas sem calagem e com revolvimento do solo a produtividade foi menor. Assim, a resposta do trigo à calagem no experimento de SA nas parcelas com revolvimento sem a correção da acidez pode ser atribuído à inversão de camadas de solo pela lavração que, causando a exposição de plântulas de trigo à toxidez de alumínio em estádios iniciais de desenvolvimento, o que causa a diminuição do potencial produtivo, como observado por Rheinheimer et al. (1994) na cultura do fumo.

A maior resposta à calagem foi obtida com a cultura da canola em SM, onde as produtividades das testemunhas foram de 65 e 54% menores que a média das parcelas com calagem, para a aplicação superficial e incorporada.

A cultura da soja apresentou baixa resposta à calagem que, na maioria dos casos, não foi significativa (Tabela III.3). Somente no experimento de SA, nas parcelas com revolvimento do solo sem correção da acidez, a produtividade da safra 07/08 foi um pouco menor, estando associada ao período prolongado de estiagem ocorrido, condição essa que agrava os problemas de fertilidade, como observado por Caires et al. (2006b). A não resposta à calagem no experimento de SM, mesmo com a alta acidez natural do campo nativo (mais de 45% de saturação por alumínio na camada 0-10 cm), pode ser atribuída aos bons teores de matéria orgânica e à boa estrutura do solo, herdados do campo nativo e, também, à correção dos teores de fósforo e potássio pela adubação. A baixa resposta à reaplicação de calcário, realizada nos experimentos de CA e SA, deve-se, provavelmente, ao longo efeito residual de calagens anteriores e também ao alto teor de matéria orgânica destes solos.

A baixa resposta à calagem e a obtenção de altas produtividades de culturas anuais em solos ácidos em SPD tem sido uma constatação freqüente, sendo relatada por vários trabalhos (PÖTTKER; BEN, 1998; CAIRES et al., 1999; RHEINHEIMER et al., 2000; GATIBONI et al., 2003; KAMINSKI et al., 2005; CAIRES et al., 2006a). Estes estudos atribuem a baixa resposta da calagem a vários fatores condicionados pelo SPD, como a maior a presença de complexos orgânicos hidrossolúveis provenientes da decomposição dos restos de culturas que podem diminuir temporariamente a atividade do Al na solução do solo (BROWN et al., 2008) e a ocupação de bioporos resultantes da decomposição de raízes e da atividade de insetos, facilitando a penetração de raízes e a infiltração de água. Além disso, uma vez aplicado o calcário, o processo de reacidificação dificilmente evolui à condição original (KAMINSKI;

RHEINHEIMER, 2000) e seu efeito pode ser maior que 20 anos (AZEVEDO; KÄMPF; BOHNEN, 1996).

Tabela III.3 – Produção de soja após a aplicação de proporções de calcários calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada em sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria).

Cultura Safr	Modo de aplicação	Tratamentos					Test.	Média
		Calcítico	Cal 3:1 dol	Cal 1:1 dol	Dol 3:1 calc	Dolomítico		
-----Mg ha ⁻¹ -----								
Cruz Alta								
Soja 05/06 ⁽²⁾	Sup.	3,08 a ⁽¹⁾	3,27 a	3,24 a	3,13 a	3,09 a	2,74 a	3,09 A
	Inc.	3,31 a	3,29 a	3,16 a	3,29 a	3,29 a	2,92 a	3,21 A
Soja 06/07 ⁽³⁾	Sup.	2,09 a	2,02 a	2,12 a	2,08 a	2,10 a	1,99 a	2,07 A
	Inc.	2,08 a	2,13 a	1,99 a	2,04 a	2,15 a	2,01 a	2,07 A
Soja 07/08 ⁽⁴⁾	Sup.	3,10 a	2,84 a	3,15 a	2,92 a	2,88 a	2,96 a	2,98 A
	Inc.	2,96 a	3,14 a	3,06 a	3,06 a	3,14 a	2,77 a	3,02 A
Produção acumulada ⁽⁵⁾	Sup.	8,27 a	8,13 a	8,52 a	8,14 a	8,07 a	7,68 a	8,14 A
	Inc.	8,35 a	8,55 a	8,21 a	8,39 a	8,58 a	7,70 a	8,30 A
Santo Ângelo								
Soja 05/06 ⁽⁶⁾	Sup.	2,94 a	2,55 a	2,63 a	2,58 a	2,63 a	2,43 a	2,63 A
	Inc.	2,48 a	2,89 a	2,74 a	2,62 a	2,90 a	2,27 a	2,65 A
Soja 07/08 ⁽⁷⁾	Sup.	2,47 a	2,40 a	2,37 a	2,41 a	2,30 a	2,17 a	2,36 A
	Inc.	2,23 a	2,27 a	2,18 ab	2,17 ab	2,24 a	1,99 b	2,18 B
Produção acumulada ⁽⁸⁾	Sup.	5,41 a	4,95 ab	5,00 ab	4,99 ab	4,93 ab	4,60 b	4,98 A
	Inc.	4,71 ab	5,16 a	4,92 ab	4,79 ab	5,14 a	4,26 b	4,81 A
Santa Maria								
Soja 05/06 ⁽⁹⁾	Sup.	2,91 a	3,04 a	2,98 a	3,06 a	2,89 a	2,59 a	2,90 A
	Inc.	2,92 a	2,81 a	2,75 a	3,04 a	2,85 a	2,50 a	2,81 A
Soja 07/08 ⁽¹⁰⁾	Sup.	3,34 a	3,45 a	3,41 a	3,24 a	3,32 a	3,65 a	3,40 A
	Inc.	4,03 a	3,51 a	3,49 a	3,65 a	3,64 a	3,14 a	3,58 A
Produção acumulada ⁽¹¹⁾	Sup.	6,25 a	6,49 a	6,39 a	6,30 a	6,21 a	6,24 a	6,31 A
	Inc.	6,95 a	6,32 a	6,24 a	6,69 a	6,49 a	5,64 a	6,39 A

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); CV, %: ⁽²⁾Sup.= 15,93, Inc.=10,28; ⁽³⁾Sup.= 11,07, Inc.=9,92; ⁽⁴⁾Sup.= 8,89, Inc.=6,78; ⁽⁵⁾Sup.= 7,67, Inc.=4,77; ⁽⁶⁾Sup.= 6,26, Inc.=12,21; ⁽⁷⁾Sup.= 6,75, Inc.=4,58; ⁽⁸⁾Sup.= 4,97, Inc.=7,06; ⁽⁹⁾Sup.= 9,07, Inc.=10,38; ⁽¹⁰⁾Sup.= 9,37, Inc.=14,54; ⁽¹¹⁾Sup.= 7,36, Inc.=9,12; Os dados de produtividade de soja safra 2005/2006 foram extraídos de Holzschuh (2006).

O revolvimento do solo para incorporação do corretivo apresentou diferentes efeitos nos experimentos. Considerando somente os as produtividades obtidas nas parcelas com aplicação de calcário, as operações de lavração e gradagem não resultaram em menores produções nos experimentos de CA e SM, exceto quando houve a ocorrência de estiagem (Figura III.4). Estas duas situações mostram que uma correção mais efetiva da acidez em profundidade pode

compensar os problemas da mobilização do solo. Além disso, o SPD tem apresentado problemas de concentração de nutrientes na camada superficial e adensamento de camadas subsuperficiais, que podem estar limitando a produtividade das culturas (MARTINAZZO, 2006). Assim, no experimento de CA, os efeitos da redistribuição de nutrientes no perfil do solo e a descompactação de camadas adensadas, somados à correção da acidez mais efetiva, superaram os problemas do revolvimento do solo. Destaque-se que, nesses experimentos, a incorporação do calcário não alcançou a profundidade de 20 cm e as mudanças mais relevantes ativeram-se a pouco mais de 5 cm nos tratamentos sem incorporação e pouco além dos 10 cm nos incorporados. Isso pode não ser suficiente para caracterizar as diferenças mais importantes na correção em profundidade, como a tolerância a pequenos déficits hídricos, muito comuns no verão do Sul do Brasil.

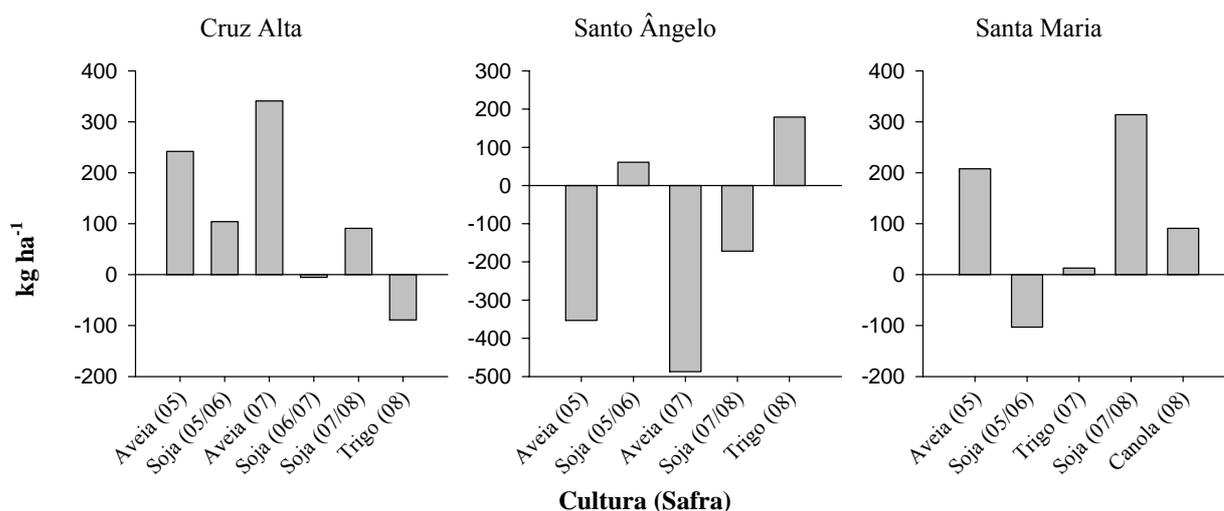


Figura III.4 - Ganhos ou perdas de produtividade pela a incorporação de calcário se comparada a aplicação superficial. Considerou-se apenas as parcelas com aplicação de calcário.

De forma diferente, no experimento de SA, também implantado sob SPD consolidado, a destruição da estrutura do solo teve um efeito negativo na produtividade das culturas nos primeiros anos após a incorporação. Este efeito também é relatado por Kaminski et al. (2000) que obtiveram redução na produtividade das culturas, se comparada a aplicação superficial, nos 3 primeiros anos após a incorporação do corretivo sobre campo nativo. Segundo Cargnelutti Filho; Reinert; Borges (1996) são necessários aproximadamente três anos de SPD para a recuperação de 59 a 90 % dos agregados destruídos pela mobilização do solo. Entretanto, as perdas de produtividade pela mobilização do solo podem não ocorrer em todos os casos e a maior eficiência

da correção da acidez resulta em incrementos de produtividades ao longo do tempo, como mostrado por Fontoura et al. (2007), em um experimento de longa duração.

5.4 CONCLUSÕES

O calcário calcítico, dolomítico e suas misturas são igualmente eficientes na correção da acidez do solo e proporcionam a mesma produtividade das culturas.

A incorporação do corretivo ao solo aumenta a eficiência da correção da acidez, mas não se reflete em diferenças substanciais na produtividade das culturas.

A aplicação superficial de calcário neutraliza o alumínio trocável apenas até a camada 0-5 cm, mesmo após 42 meses da aplicação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos de relações Ca:Mg não devem considerar a competição ou antagonismo como único fator que regula a disponibilidade destes nutrientes. A interação entre Ca e Mg na absorção é de importância secundária, pois a resposta das culturas está ligada à variação ou magnitude do suprimento destes nutrientes.

Considerando que os calcários com diferentes teores de Ca e Mg apresentam a mesma eficiência na correção da acidez do solo e que a relação Ca:Mg não representa problemas à produção das culturas, não há motivos que justifiquem a substituição de calcário dolomítico por calcítico.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-ABBAS, H.; BARBER, S. A. Effect of root growth and mass-flow on the availability of soil calcium and magnesium to soybeans in a greenhouse experiment. **Soil Science**, Baltimore, v. 97, n.1, p. 103-107, Jan./Jun. 1963.
- ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 292-331, 2003.
- AMARAL, A. S. D.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 695-702, abr. 2001.
- AMARAL, A. S. et al. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 359-367, mar./abr. 2004.
- ASEMANEH, T. et al. Responses to Mg/Ca balance in an iranian serpentine endemic plant, *Cleome heratensis* (Capparaceae) and a related non-serpentine species, *C. foliolosa*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 293, n. 1-2, p. 49-59, Apr. 2007.
- AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 191-198, maio/ago. 1996.
- BARBER, S. A. Lime material and practices. In: ADAMS, F. (ed.) **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 171-209.
- 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 Scienc Society American Proceeding**. Madison, v. 34, p. 635-637, 1970.
- BEAR, F. E.; PRINCE, A. L.; MALCOM, J. L. **Potassium needs of New Jersey soils**. New Jersey: Agricultural Experiment Station, New Brunswick, 1945. (bulletin, 721)
- BELLINGIERI, P. A.; ALCARDE, J. C., et al. Reatividade de calcário agrícolas e a relação entre os teores de cálcio e magnésio. **Anais da ESALQ**, v. 45 (parte 2), p. 499-515, 1988.
- 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.

BROWN, T. T. et al. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminium chemistry on direct-seeded cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 3, p. 634-640, 2008.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, abr./jun. 1999.

CAIRES, E. F. et al. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 161-169, jan./mar. 2000.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, mar./abr. 2003.

CAIRES, E. F. et al. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 87-98, jan./fev. 2006a.

CAIRES, E. F.; et al. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 502-509. Set./Oct. 2006b.

CARGNELUTTI FILHO, A.; REINERT, D. J.; BORGES, D. F. Recuperação da estabilidade estrutural induzida pelo plantio direto, de solo que recebeu preparo convencional por dois anos. CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, **Anais ...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

CHEN, J.; GABELMAN, V. H. Morphological and physiological characteristics of tomato roots associated with potassium acquisition efficiency. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 83, p. 213-225, 2000.

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: Núcleo Regional Sul - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2004. 400 p.

EMBRAPA-CNPS. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa-CNPS. 1999. 370 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS. 2006. 306 p.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Rio de Janeiro: Campus. 1984. 341 p.

_____. Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, set./dez. 2001.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 235-247, mar./abr. 2005.

FONTOURA, S. M. V. et al. Rendimento de culturas afetado por métodos de aplicação de calcário em solo sob Sistema de Plantio Direto no Centro-Sul do Paraná. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P. Soil magnesium level, corn (*Zea mays* L.) yield, and magnesium uptake. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 15, n. 22, p. 109-123, 1984.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso o pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p.283-290, jul./ago. 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1779-1786, dez. 2002.

GROVE, J. H.; SUMNER, M. E. Lime induced magnesium stress in corn: Impact of magnesium and phosphorus availability. **Soil Science Society**, v. 49, n. 5, p. 1192-1194, 1985.

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

KAMINSKI, J. et al. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 605-609, jan./fev. 2000.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 573-580, jul./ago. 2005.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS/NRS, 2000. Cap. 2, p. 21-39.

KELLING, K. A.; PETERS, J. B. The advisability of using cation balance as a basis for fertilizer recommendations. In: WISCONSIN FERTILIZER, AGLIME,; PEST MANAGEMENT CONFERENCE, 2004, **Proceeding...** Madison: University of Wisconsin - Department of Soil Science, 2004. p. 1-6. Disponível em: <<http://www.soils.wisc.edu/extension/FAPM/2004.php>>. Acesso em: 27 out. 2008.

KHASAWNEH, F. E. Solution ion activity on plant growth. **Soil Science Society American Proceeding**, v. 35, n. 3, p. 426-436, 1971.

KIRBY, E. A. Maximizing calcium uptake by plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 10, n. 1/2, p. 89-113, 1979.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. A review of the use of the basic cation saturation ratio and the "ideal" soil. **Soil Science Society American Journal**, v. 71, n. 2, p. 259-265, Mar./Apr. 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica CERES. 1980. 254 p.

_____. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Agronômica CERES. 1992. 124 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS. 1997. 201 p.

_____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. 889 p.

MARTINAZZO, R. **Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico álico. **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799-806, out./dez. 2008.

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. 95 f. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute. 1987. 142 p.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. A solução do solo. In: MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. 3. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Evangraf. 2006. cap. 4, p. 91-115.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, v. 36, n. 3, p. 290-295, 1960.

MOREIRA, S. G. et al. Calagem em sistema semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p.71-81, jun./mar. 2001.

MOSER, F. The calcium:magnesium ratio in soils and its relation to crop growth. **Journal American Society Agronomy**, Washington, v. 25, n. 6, p. 365-377, Jun. 1933.

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 do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 79-85, Jan./Apr. 1998.

OLIVEIRA, A. L. de. Rendimento de matéria seca e absorção de cálcio e magnésio pelo milho em função da relação cálcio/magnésio do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 3, p. 383-388, set./dez. 1993.

PANDOLFO, C. M.; TEDESCO, M. J. Eficiência relativa de frações granulométricas de calcário na correção da acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 10, p. 753-758, out. 1996.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 4, p. 885-895, out./dez. 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 675-684, out./dez. 1998.

REHM, G. **Soil cation ratios for crop production**. North Central Regional Extension Publication 533. 1994. University of Minnesota - Soil Science Department. Disponível em: <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6437.html>. Acesso em: 28 set. 2008.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Influência do estresse de alumínio em plantas de fumo: I. Efeitos no sistema radicular, na absorção de fósforo e cálcio e no acúmulo de massa seca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 1, p. 63-68, jan./abr. 1994.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 797-805, out./dez. 2000.

RUIZ, H. A. et al. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca, e Mg a plantas de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, p. 1015-1018, out./dez. 1999.

SILVA, J. E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 15, n. 3, p. 329-333, mar. 1980.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**, New York: Oxford University. 1989. 277 p.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Plant Physiology**. 2. nd., Sunderland: Sinaver Associates. 1998. 792 p.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: UFRGS/FA/DS. 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).

VARGAS, R. M. B. et al. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solo do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 7, n. 2, p. 143-148, maio/ago. 1983.

8 APÊNDICES

Apêndice A – Produção de matéria seca da parte aérea, raízes e planta inteira, massa fresca radicular e volume radicular de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
	----- Parte aérea (MS) g vaso ⁻¹ -----					
3%	2,5 c ⁽¹⁾	6,6 c	20,5 cd	38,1 cd	$y = 0,41 - 0,100x + 0,0071x^2$	0,99**
9%	2,6 bc	8,2 c	19,5 d	33,7 d	$y = 0,06 + 0,008x + 0,0052x^2$	0,99**
18%	2,9 abc	8,6 bc	23,3 bc	39,94 bc	$y = 0,09 - 0,021x + 0,0065x^2$	0,98**
27%	3,0 ab	10,5 ab	25,3 ab	44,16 ab	$y = 0,04 - 0,006x + 0,0070x^2$	0,99**
36%	3,1 a	11,5 a	27,0 a	45,05 a	$y = -0,17 + 0,040x + 0,0066x^2$	0,99**
45%	3,2 a	11,6 a	27,9 a	46,27 a	$y = -0,20 + 0,040x + 0,0068x^2$	0,99**
CV, %	7,66	10,70	7,16	6,18		
	----- Raízes (MS) g vaso ⁻¹ -----					
3%	0,93 b	1,84 c	4,11 c	7,98 bc	$y = 0,18 - 0,008x + 0,0013x^2$	0,96**
9%	0,99 ab	1,99 bc	3,90 c	7,11 c	$y = 0,14 + 0,009x + 0,0010x^2$	0,99**
18%	1,07 ab	2,45 ab	5,13 b	8,03 abc	$y = 0,02 + 0,030x + 0,0009x^2$	0,98**
27%	1,12 ab	2,84 a	5,67 ab	9,12 ab	$y = 0,02 + 0,031x + 0,0010x^2$	0,99**
36%	1,24 a	2,99 a	5,49 ab	9,32 a	$y = 0,08 + 0,029x + 0,0011x^2$	0,99**
45%	1,23 a	2,91 a	6,10 a	9,03 ab	$y = -0,03 + 0,045x + 0,0009x^2$	0,99**
CV, %	11,91	11,80	8,64	7,84		
	----- Planta inteira (MS) g vaso ⁻¹ -----					
3%	3,42 c	8,44 d	24,59 cd	46,03 cd	$y = 0,59 - 0,108x + 0,0084x^2$	0,98**
9%	3,55 bc	10,18 cd	23,39 d	40,79 d	$y = 0,20 + 0,017x + 0,0061x^2$	0,99**
18%	3,95 abc	11,01 bc	28,46 bc	47,97 bc	$y = 0,12 + 0,009x + 0,0074x^2$	0,98**
27%	4,08 ab	13,30 ab	30,94 ab	53,28 ab	$y = 0,06 + 0,025x + 0,0080x^2$	0,99**
36%	4,36 a	14,42 a	32,49 a	54,37 a	$y = -0,10 + 0,069x + 0,0077x^2$	0,99**
45%	4,42 a	14,51 a	34,04 a	55,29 a	$y = -0,23 + 0,085x + 0,0077x^2$	0,99**
CV, %	8,21	10,23	7,01	6,08		
	----- Peso fresco radicular g vaso ⁻¹ -----					
3%	10,13 c	19,54 b	40,86 bc	69,21 ab	$y = 1,02 + 0,155x + 0,0086x^2$	0,91**
9%	10,76 bc	18,57 b	36,34 c	61,72 b	$y = 1,27 + 0,185x + 0,0070x^2$	0,98**
18%	11,99 abc	23,59 ab	44,62 abc	75,59 ab	$y = 1,17 + 0,242x + 0,0085x^2$	0,99**
27%	12,81 ab	23,51 ab	51,22 a	81,66 a	$y = 0,96 + 0,262x + 0,0093x^2$	0,99**
36%	13,98 a	25,67 a	44,61 abc	77,20 ab	$y = 1,64 + 0,290x + 0,0079x^2$	0,98**
45%	13,62 a	26,13 a	45,69 ab	72,17 ab	$y = 0,92 + 0,414x + 0,0058x^2$	0,98**
CV, %	10,73	12,07	10,84	11,40		
	----- Volume radicular cm ³ vaso ⁻¹ -----					
3%	9,80 c	19,19 b	40,37 b	69,05 ab	$y = 1,03 + 0,136x + 0,0088x^2$	0,91**
9%	10,54 bc	18,32 b	35,92 b	61,63 b	$y = 1,29 + 0,170x + 0,0072x^2$	0,98**
18%	12,12 abc	23,01 ab	43,70 ab	76,32 ab	$y = 1,44 + 0,196x + 0,0091x^2$	0,98**
27%	13,03 ab	22,81 ab	50,02 a	81,88 a	$y = 1,27 + 0,217x + 0,0098x^2$	0,99**
36%	14,18 a	25,00 a	42,58 ab	77,29 ab	$y = 2,04 + 0,232x + 0,0085x^2$	0,97**
45%	13,81 a	25,62 a	43,83 ab	73,03 ab	$y = 1,35 + 0,349x + 0,0066x^2$	0,98**
CV, %	11,39	12,48	10,32	11,50		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); ** Significativo à 1%.

Apêndice B – Teores totais de cálcio e magnésio da matéria seca da parte aérea de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
----- % de Ca na MS da parte aérea -----						
3%	2,2 a ⁽¹⁾	2,1 a	1,8 a	1,6 a	y = 2,47 -0,011x	0,74**
9%	2,1 a	1,9 ab	1,8 a	1,4 b	y = 2,34 -0,011x	0,81**
18%	2,2 a	2,0 ab	1,8 a	1,3 b	y = 2,53 -0,014x	0,89**
27%	2,1 a	1,8 b	1,5 b	1,2 b	y = 2,37 -0,014x	0,95**
36%	1,7 b	1,5 c	1,4 c	1,1 bc	y = 1,91 -0,010x	0,84**
45%	1,4 c	1,3 d	1,1 d	0,9 c	y = 1,59 -0,008x	0,85**
CV, %	4,83	6,48	5,89	9,39		
----- % de Mg na MS da parte aérea -----						
3%	0,3 d	0,4 e	0,3 e	0,2 e	y = 0,40 -0,002x	0,57**
9%	0,3 d	0,3 e	0,3 e	0,2 e	y = 0,38 -0,002x	0,62**
18%	0,4 d	0,4 d	0,4 d	0,3 b	y = 0,52 -0,001x	0,62**
27%	0,5 c	0,4 c	0,5 c	0,4 c	y = 0,41 -0,001x	0,29*
36%	0,6 b	0,5 b	0,5 b	0,5 b	y = 0,61 -0,002x	0,38**
45%	0,8 a	0,7 a	0,6 a	0,7 a	y = 0,85 -0,003x	0,60**
CV, %	5,59	4,59	5,84	6,67		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); *Significativo à 5%; **Significativo à 1%.

Apêndice C – Cálcio e magnésio acumulados na parte aérea de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
Ca acumulado na parte aérea mg vaso ⁻¹						
3%	56 a ⁽¹⁾	136 b	367 abc	611 a	y = 2,65 +0,127x +0,0942x ²	0,95**
9%	53 ab	154 ab	351 bc	457 bc	y = -10,53 +3,172x +0,0362x ²	0,97**
18%	62 a	171 ab	410 a	515 abc	y = -13,13 +3,819x +0,0384x ²	0,96**
27%	61 a	190 a	387 ab	547 ab	y = -8,80 +3,293x +0,0475x ²	0,98**
36%	57 ab	172 ab	366 abc	512 abc	y = -9,26 +2,979x +0,0463x ²	0,98**
45%	43 b	146 b	313 c	430 c	y = 0,87 +0,284x +0,0431x ²	0,99**
CV, %	9,09	11,60	8,29	11,19		
Mg acumulado na parte aérea mg vaso ⁻¹						
3%	8 d	23 e	65 e	83 e	y = -2,07 +0,467x +0,0081x ²	0,96**
9%	9 d	28 de	62 e	82 e	y = -2,09 +0,563x +0,0065x ²	0,97**
18%	11 d	34 d	90 d	132 d	y = -1,62 +0,343x +0,0172x ²	0,98**
27%	15 c	47 c	114 c	186 c	y = -0,49 +0,223x +0,0266x ²	0,99**
36%	20 b	59 b	141 b	236 b	y = 0,13 +0,190x +0,0347x ²	0,99**
45%	27 a	70 a	174 a	299 a	y = 0,87 +0,284x +0,0431x ²	0,99**
CV, %	9,47	10,58	7,93	8,17		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); **Significativo à 1%.

Apêndice D – Teores de cálcio e magnésio da matéria seca de raízes de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
----- % de Ca na MS das raízes -----						
3%	0,7 a ⁽¹⁾	0,6 a	0,7 a	0,8 a	y = 0,55 + 0,003x	0,38** ns
9%	0,6 a	0,5 a	0,6 ab	0,7 a	y = 0,54	ns
18%	0,6 a	0,4 b	0,6 b	0,5 b	y = 0,54	ns
27%	0,5 b	0,3 c	0,3 c	0,4 c	y = 0,44	ns
36%	0,4 bc	0,3 cd	0,3 d	0,3 c	y = 0,37	ns
45%	0,4 c	0,2 d	0,3 d	0,0 c	y = 0,32	ns
CV, %	7,38	7,58	9,15	9,25		
----- % de Mg na MS das raízes -----						
3%	1,2 c	0,7 c	0,5 c	0,3 b	y = 1,55 - 0,027x + 0,0001x ²	0,97**
9%	1,2 c	0,7 c	0,6 bc	0,5 b	y = 1,76 - 0,035x + 0,0002x ²	0,90**
18%	1,3 bc	0,8 bc	0,8 ab	0,8 a	y = 1,93 - 0,038x + 0,0003x ²	0,77**
27%	1,5 ab	0,9 bc	1,0 a	0,8 a	y = 2,19 - 0,041x + 0,0003x ²	0,76**
36%	1,7 a	1,0 ab	0,9 a	0,9 a	y = 2,59 - 0,054x + 0,0004x ²	0,81**
45%	1,8 a	1,2 a	0,9 a	0,8 a	y = 2,54 - 0,046x + 0,0003x ²	0,89**
CV, %	9,36	12,59	19,39	13,83		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); ** Significativo à 1%; ns Não significativo.

Apêndice E – Cálcio e magnésio acumulados nas raízes de plantas de soja cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
-- Ca acumulado nas raízes mg vaso ⁻¹ --						
3%	6,1 a ⁽¹⁾	10,6 a	28,3 a	62,3 a	y = 1,96 - 0,253x + 0,0123x ²	0,95**
9%	6,4 a	10,4 a	23,7 ab	51,9 a	y = 1,82 - 0,152x + 0,0095x ²	0,97**
18%	6,3 a	10,2 a	29,7 a	40,9 b	y = 0,00 + 0,163x + 0,0045x ²	0,94**
27%	5,4 ab	8,8 ab	24,6 ab	34,3 bc	y = 0,06 + 0,140x + 0,0037x ²	0,95**
36%	5,2 ab	7,9 ab	18,5 b	32,1 bc	y = 0,74 + 0,036x + 0,0044x ²	0,96**
45%	4,4 b	6,8 b	20,2 b	27,3 c	y = 0,00 + 0,118x + 0,0029x ²	0,94**
CV %	13,80	16,71	13,84	16,16		
-- Mg acumulado nas raízes mg vaso ⁻¹ --						
3%	10,0 c	12,7 d	19,1 c	23,7 c	y = 1,82 + 0,282x	0,93**
9%	11,7 c	13,6 d	22,7 bc	33,7 c	y = 0,68 + 0,391x	0,90**
18%	14,2 bc	20,3 cd	39,4 ab	61,6 b	y = -2,61 + 0,742x	0,92**
27%	17,4 ab	24,7 bc	54,0 a	68,1 ab	y = -1,73 + 0,864x	0,95**
36%	21,0 a	30,1 ab	50,8 a	82,0 a	y = -1,97 + 0,969x	0,87**
45%	21,6 a	34,3 a	56,2 a	75,4 ab	y = 0,40 + 0,928x	0,94**
CV %	15,43	18,08	23,56	15,49		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); ** Significativo à 1%.

Apêndice F – Cálcio e magnésio acumulados nas plantas de soja (parte aérea e raízes) cultivada em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo				Equação	R ²
	20	40	60	80		
Ca acumulado na planta inteira mg vaso ⁻¹						
3%	62 a ⁽¹⁾	146 b	395 ab	673 a	$y = 4,62 - 0,125x + 0,1065x^2$	0,96**
9%	59 ab	165 ab	375 bc	509 bc	$y = -8,70 + 3,020x + 0,0456x^2$	0,98**
18%	69 a	181 ab	440 a	556 abc	$y = -13,13 + 3,983x + 0,0429x^2$	0,96**
27%	67 a	199 a	411 ab	581 ab	$y = -8,74 + 3,433x + 0,0513x^2$	0,98**
36%	59 ab	180 ab	385 abc	544 bc	$y = -8,52 + 3,014x + 0,0507x^2$	0,98**
45%	50 b	153 b	333 c	457 c	$y = -8,71 + 2,765x + 0,0403x^2$	0,98**
CV, %	9,08	11,49	7,98	10,87		
Mg acumulado na planta inteira mg vaso ⁻¹						
3%	18 e	36 e	84 d	106 e	$y = -1,28 + 0,852x + 0,0068x^2$	0,97**
9%	20 ed	42 de	85 d	115 e	$y = -0,59 + 0,872x + 0,0075x^2$	0,98**
18%	25 d	54 d	129 c	193 d	$y = -0,06 + 0,669x + 0,0224x^2$	0,98**
27%	32 c	71 c	168 b	254 c	$y = 0,00 + 0,866x + 0,0294x^2$	0,99**
36%	41 b	89 b	192 b	318 b	$y = 2,74 + 0,701x + 0,0405x^2$	0,99**
45%	48 a	112 a	231 a	375 a	$y = 1,90 + 1,148x + 0,0439x^2$	0,99**
CV, %	10,93	10,85	8,19	7,11		

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05); ** Significativo à 1%.

Apêndice G – Transpiração acumulada por vaso durante os cultivos de soja em um solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo			
	20	40	60	80
L vaso ⁻¹				
3%	1,07 c ⁽¹⁾	3,38 b	8,93 b	14,47 b
9%	1,05 c	3,34 b	8,02 b	12,79 b
18%	1,10 bc	3,63 b	8,78 b	14,27 b
27%	1,28 ab	4,66 a	11,27 a	16,86 a
36%	1,43 a	5,16 a	11,78 a	16,74 a
45%	1,37 a	5,13 a	12,00 a	17,08 a
CV, %	7,51	7,42	9,53	5,72

⁽¹⁾Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05).

Apêndice H – Volume de água transpirada por grama de matéria seca produzida na parte aérea de plantas de soja cultivadas num solo com saturações crescentes de magnésio na Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0.

Saturação da CTC _{7,0} por Mg	Dias de cultivo			
	20	40	60	80
	----- Litros transpirados por g de MS da parte aérea -----			
3%	0,43 a ⁽¹⁾	0,46 a	0,45 a	0,38 a
9%	0,42 a	0,41 a	0,41 a	0,38 a
18%	0,39 a	0,43 a	0,41 a	0,36 a
27%	0,43 a	0,45 a	0,45 a	0,38 a
36%	0,46 a	0,45 a	0,44 a	0,37 a
45%	0,43 a	0,45 a	0,43 a	0,37 a
CV,%	9,64	13,49	10,53	3,73

⁽¹⁾ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (alfa=0,05).

Apêndice L – Valores de pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, saturação por alumínio e por bases da camada 0-10 cm, após 42 meses de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Médias de 4 repetições.

Tratamento	Forma de aplicação											
	Superficial						Incorporado					
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	m	V ⁽⁴⁾	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	m	V
	1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----		1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----	
	-----Cruz Alta-----											
Calcítico	5,6	8,4	1,5	0,0	0	68	6,2	9,4	1,7	0,0	0	76
Cal 3:1 dol	5,9	7,1	1,8	0,0	0	70	5,7	7,5	1,7	0,0	0	68
Cal 1:1 dol	5,8	7,2	2,2	0,0	0	65	5,7	6,8	2,2	0,0	0	67
Dol 3:1 calc	5,7	6,3	2,7	0,0	0	65	6,1	6,8	3,0	0,0	0	72
Dolomítico	5,9	6,2	3,5	0,0	0	70	6,2	6,0	3,7	0,0	0	76
Testemunha	4,8	2,9	1,5	0,9	17	29	4,9	3,2	1,7	0,9	19	36
	-----Santo Ângelo-----											
Calcítico	6,0	8,7	1,5	0,0	0	72	6,3	9,7	1,6	0,0	0	79
Cal 3:1 dol	5,8	8,0	1,7	0,0	0	68	6,3	9,3	2,1	0,0	0	79
Cal 1:1 dol	5,9	7,8	2,4	0,0	0	71	6,2	9,0	2,6	0,0	0	79
Dol 3:1 calc	6,0	7,4	3,0	0,0	0	71	6,2	7,7	2,9	0,0	0	74
Dolomítico	5,9	7,0	3,4	0,0	0	70	6,2	6,8	4,0	0,0	0	78
Testemunha	4,9	3,3	1,4	1,8	29	27	5,0	3,9	1,6	1,3	20	36
	-----Santa Maria-----											
Calcítico	5,7	6,3	0,8	0,0	0	75	6,0	6,6	0,9	0,0	0	80
Cal 3:1 dol	5,8	6,5	1,1	0,0	0	77	6,2	6,7	1,2	0,0	0	81
Cal 1:1 dol	5,5	5,1	1,0	0,0	0	66	6,2	6,3	1,5	0,0	0	81
Dol 3:1 calc	5,4	4,9	1,8	0,1	1	68	5,8	5,3	1,8	0,0	0	74
Dolomítico	5,4	4,8	2,0	0,1	1	68	6,0	5,3	2,1	0,0	0	80
Testemunha	4,3	1,3	0,6	1,7	48	23	4,3	1,7	0,6	1,9	46	27

Apêndice M – Valores de pH em água, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, saturação por alumínio e por bases da camada 0-20 cm, após 42 meses de proporções de calcário calcítico e dolomítico nas formas superficial ou incorporada sob sistema de plantio direto consolidado (Cruz Alta e Santo Ângelo) ou campo nativo (Santa Maria). Médias de 4 repetições.

Tratamento	Forma de aplicação											
	Superficial						Incorporado					
	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	m	V	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	m	V
	1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----		1:1	-----cmol _c dm ³ -----			-----%-----	
	-----Cruz Alta-----											
Calcítico	5,4	5,5	1,2	0,3	4	51	5,6	6,4	1,3	0,0	0	61
Cal 3:1 dol	5,4	4,9	1,4	0,3	4	54	5,7	5,4	1,6	0,0	0	53
Cal 1:1 dol	5,2	4,7	1,6	0,4	6	48	5,5	5,1	1,6	0,0	0	51
Dol 3:1 calc	5,3	4,4	2,0	0,5	7	48	5,6	5,0	2,2	0,0	0	56
Dolomítico	5,4	4,6	2,6	0,2	3	54	5,7	4,9	2,8	0,0	0	61
Testemunha	4,8	2,4	1,2	1,2	26	27	4,8	2,4	1,3	1,2	26	27
	-----Santo Ângelo-----											
Calcítico	5,6	6,3	1,3	0,0	0	56	6,0	8,0	1,4	0,0	0	68
Cal 3:1 dol	5,5	6,0	1,4	0,0	0	55	5,9	7,2	1,9	0,0	0	67
Cal 1:1 dol	5,6	6,0	2,0	0,0	0	55	5,7	6,6	2,2	0,0	0	65
Dol 3:1 calc	5,6	6,4	2,5	0,0	0	62	5,9	6,4	2,7	0,0	0	66
Dolomítico	5,5	5,1	2,5	0,0	0	55	5,8	5,6	2,9	0,0	0	65
Testemunha	4,9	3,0	1,2	1,8	31	27	4,9	3,4	1,4	1,6	25	34
	-----Santa Maria-----											
Calcítico	5,4	4,9	0,6	0,2	4	63	5,5	4,3	0,7	0,0	0	67
Cal 3:1 dol	5,2	4,0	0,8	0,2	4	63	5,8	5,1	0,9	0,0	0	73
Cal 1:1 dol	5,1	3,7	0,9	0,4	10	55	5,9	5,0	1,2	0,0	0	72
Dol 3:1 calc	5,2	3,6	1,4	0,3	6	59	5,8	3,8	1,3	0,0	0	60
Dolomítico	5,1	2,8	1,3	0,5	10	49	5,5	3,8	1,6	0,0	0	62
Testemunha	4,3	1,0	0,5	2,0	58	18	4,3	1,4	0,6	2,1	53	18