

# Atributos químicos do solo e resposta das culturas à calagem superficial no sistema de plantio direto





Governador do Estado  
João Raimundo Colombo

Vice-Governador do Estado  
Eduardo Pinho Moreira

Secretário de Estado da Agricultura e da Pesca  
João Rodrigues

Presidente da Epagri  
Luiz Ademir Hessmann

Diretores

Ditmar Alfonso Zimath  
Extensão Rural

Eduardo Medeiros Piazero  
Desenvolvimento Institucional

Luiz Antonio Palladini  
Ciência, Tecnologia e Inovação

Paulo Roberto Lisboa Arruda  
Administração e Finanças



**BOLETIM TÉCNICO Nº 158**

# **Atributos químicos do solo e resposta das culturas à calagem superficial no sistema de plantio direto**

Carla Maria Pandolfo  
Eloi Erhard Scherer  
Milton da Veiga



**Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  
Florianópolis  
2013**

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)  
Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502  
88034-901 Florianópolis, SC, Brasil  
Fone: (48) 3665-5000, fax: (48) 3665-5010  
Site: [www.epagri.sc.gov.br](http://www.epagri.sc.gov.br)

Editado pela Gerência de Marketing e Comunicação (GMC).

**Assessoria científica deste trabalho:**

Jorge Luís Mattias  
Evandro Spagnollo  
Leandro do Prado Wildner  
Gilberto Nava

**Revisão:** Abel Viana

**Revisão final:** João Batista Leonel Ghizoni

**Diagramação e arte-final:** Victor Berretta

**Primeira edição:** março de 2013

**Tiragem:** 600 exemplares

**Impressão:** Dioesc

É permitida a reprodução parcial deste trabalho desde que citada a fonte.

**Ficha catalográfica**

PANDOLFO, C.M.; SCHERER, E.E.; VEIGA, M. da. *Atributos químicos do solo e resposta das culturas à calagem superficial no sistema de plantio direto*. Florianópolis: Epagri, 2013. 38p. (Epagri. Boletim Técnico, 158).

Solo – plantio direto; Calagem.

ISSN 0100-7416



## **APRESENTAÇÃO**

A aplicação de calcário nos solos ácidos se constitui em uma das práticas agrícolas mais utilizadas, apresentando grande efeito na produção das plantas em função da melhoria das características químicas do solo no ambiente radicular. A calagem é necessária nesses solos para elevar o pH e diminuir ou neutralizar elementos tóxicos, como o alumínio e o manganês, e aumentar os teores de cálcio e magnésio no solo, entre outros.

Com a adoção do sistema de plantio direto, que se caracteriza pela implantação das culturas com revolvimento de solo apenas na linha de semeadura, o calcário, que antes era incorporado, passou a ser aplicado na superfície, com dinâmica de reações e efeitos da calagem diferentes em relação ao sistema de preparo convencional. A expansão e a adoção do sistema de plantio direto no Planalto, Meio-Oeste e Oeste Catarinense iniciou na década de 90 e, atualmente, estima-se que aproximadamente 1 milhão de hectares de lavouras em Santa Catarina adotem esse sistema. No entanto, ainda há pouca informação disponível a respeito da aplicação superficial de calcário em solos representativos dessas regiões.

Neste Boletim Técnico foram reunidos os principais resultados de pesquisas conduzidas pela Epagri com aplicação superficial de calcário em Latossolos e Nitossolos, os quais são utilizados predominantemente para produção de grãos em sistema de plantio direto. O Boletim aborda os efeitos dessa prática sobre os atributos químicos do solo e sobre o rendimento de grãos de culturas anuais em sistema de plantio direto.

A Diretoria Executiva



# SUMÁRIO

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introdução .....</b>                                                 | <b>7</b>  |
| <b>1 Materiais e métodos.....</b>                                       | <b>8</b>  |
| 1.1 Campos Novos .....                                                  | 8         |
| 1.2 Chapecó.....                                                        | 11        |
| <b>2 Resultados e discussão .....</b>                                   | <b>13</b> |
| 2.1 Atributos de solo .....                                             | 13        |
| 2.1.1 Nitossolo Vermelho Distrófico (Campos Novos, SC).....             | 13        |
| 2.1.2 Latossolo Vermelho Distroférrico (Chapecó, SC) .....              | 23        |
| 2.2 Rendimento de grãos das culturas e de massa seca da ervilhaca ..... | 26        |
| 2.2.1 Nitossolo Vermelho Distrófico (Campos Novos, SC).....             | 26        |
| 2.2.2 Latossolo Vermelho Distroférrico (Chapecó, SC) .....              | 31        |
| <b>3 Conclusões .....</b>                                               | <b>35</b> |
| <b>Literatura citada .....</b>                                          | <b>35</b> |



# Introdução

Carla Maria Pandolfo<sup>1</sup>

Eloi Erhard Scherer<sup>2</sup>

Milton da Veiga<sup>3</sup>

A calagem é uma prática usada em solos ácidos, visando elevar o pH, diminuir ou neutralizar o efeito de elementos tóxicos como o alumínio (Al) e o manganês (Mn) trocáveis e aumentar os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo. No sistema de plantio direto (SPD), a aplicação do calcário é feita sobre a superfície do solo, sem incorporação, já que esse sistema não prevê o revolvimento do solo, diferentemente do solo manejado sob preparo convencional. Além disso, no SPD os resíduos vegetais permanecem na superfície do solo, e os fertilizantes são incorporados a uma pequena profundidade ou aplicados na superfície, resultando na formação de gradiente de fertilidade no perfil.

Apesar de o calcário apresentar baixa solubilidade e mobilidade, no SPD seus efeitos nos atributos de solo em profundidade podem estar associados a mecanismos de ordem química, física e biológica (Amaral, 2002). Esses mecanismos incluem a descida de partículas de calcário por meio dos macroporos e bioporos do solo, a translocação de Ca e Mg acompanhados por ânions solúveis (Pavan et al., 1984) ou por ligantes orgânicos, bem como a neutralização da acidez do solo e a diminuição da toxidez de Al por ácidos orgânicos solúveis (Franchini et al., 1999).

Os efeitos da aplicação superficial de calcário no solo têm sido estudados para os atributos químicos do solo (Correa et al., 2007; Petrere & Anghinoni, 2001) e para rendimento de plantas e nutrição vegetal (Caires & Fonseca, 2000; Tissi et al., 2004; Caires et al., 2008), tanto na comparação de sistemas com e sem revolvimento do solo (Ernani et al., 2002; Kaminski et al., 2005, Miranda et al., 2005) como com diferentes solos e culturas (Rheinheimer et al., 2000; Caires & Fonseca, 2000; Tissi et al., 2004; Kaminski et al., 2005).

A magnitude do efeito da calagem no SPD varia em função do tipo de solo, das doses aplicadas, do atributo avaliado e do tempo transcorrido após a aplicação. No SPD, o calcário em aplicação superficial apresenta efeito sobre a acidez

---

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri/Estação Experimental de Campos Novos (EECN), C.P. 116, 89620-000 Campos Novos, SC, fone: (49) 3541-0748, e-mail: pandolfo@epagri.sc.gov.br.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, Ph.D., Epagri/Cepaf, C.P. 151, 89801-970 Chapecó, SC, fone: (49) 2049-7510, e-mail: escherer@epagri.sc.gov.br.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri/EECN, e-mail: milveiga@epagri.sc.gov.br.

e outros atributos químicos do solo, tanto na camada superficial (até 5cm) como subsuperficial (5 a 10cm) (Rheinheimer et al., 2000; Miranda et al., 2005), ou até 15 a 20cm (Caires et al., 2002; Amaral et al., 2004; Ciotta et al., 2004). Efeitos em maior profundidade foram observados em um Latossolo Vermelho Distrófico após longo tempo da aplicação (Caires et al., 2002). Esses autores observaram que, após 92 meses da aplicação de quatro doses de calcário dolomítico na superfície, com reaplicação das doses sete anos depois da primeira aplicação, houve aumento do pH, do Ca trocável e da saturação por bases e redução do Al trocável até a profundidade de 60cm. Em outro estudo, Caires et al. (2008) verificaram que, depois de nove anos, a calagem resultou no aumento do pH em água e do Ca trocável e na redução do Al trocável e da saturação por Al em um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, até a profundidade de 60cm. Com relação ao efeito da calagem superficial sobre o rendimento de grãos das culturas, de modo geral não se tem observado influência sobre a soja (Caires et al., 2008) e o milho (Tissi et al., 2004).

A expansão do SPD no Meio-Oeste e Oeste Catarinense e a adoção dessa tecnologia com aplicação superficial do calcário ocorreu na década de 90. No entanto, ainda há pouca informação disponível a respeito dos efeitos da calagem superficial em solos dessas regiões. Nesse sentido, o objetivo deste Boletim é reunir os resultados de experimentos conduzidos com a aplicação de calcário na superfície, em solos argilosos representativos dessas regiões, e abordar seus efeitos no solo e no rendimento de culturas anuais em sistema de plantio direto.

## **1 Materiais e métodos**

No período de 1996 a 2008 foram conduzidos cinco experimentos com aplicação superficial de calcário no SPD, sendo três na região Meio-Oeste, no município de Campos Novos, e dois na Região Oeste Catarinense, no município de Chapecó. Os experimentos conduzidos em cada local são descritos abaixo.

### **1.1 Campos Novos**

Três experimentos (1, 2 e 3) foram conduzidos por 93 meses em solo classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico (Embrapa, 2004) no município de Campos Novos, localizado na região Planalto Sul Catarinense. O clima da região é do tipo Cfb, de acordo com a classificação climática de Köppen (Pandolfo et al., 2002). Anteriormente à implantação dos experimentos, a área, originalmente de campo natural e com vegetação arbustiva, tinha sido destocada e nela foi realizado um cultivo de soja sem aplicação de calcário. O solo apresentava, na camada de até 20cm, os seguintes atributos: 550g/kg de argila; 4,4 de pH em água; 4,5 de índice SMP; 1,3mg/dm<sup>3</sup> de fósforo (P) disponível; 132mg/dm<sup>3</sup> de potássio (K) trocável; 59g/dm<sup>3</sup> de matéria or-

gânica (MO); 3,2cmol/dm<sup>3</sup> de Al trocável; 2,9cmol/dm<sup>3</sup> de Ca trocável; e 1,7cmol/dm<sup>3</sup> de Mg trocável.

Os experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso, com três repetições, em parcelas de 36m<sup>2</sup>. Foi aplicado calcário dolomítico com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 75,1%, sendo as doses corrigidas para PRNT 100%. Ao longo do tempo de condução dos experimentos, foram cultivados quatro ciclos de uma rotação com a sequência bianual das seguintes culturas: triticale/soja - ervilhaca/milho. Em todos os cultivos de milho, soja e triticale, foi utilizada adubação de acordo com as recomendações da CFS-NRS (1995), vigente na época de instalação do experimento. A ervilhaca foi cultivada sem adubação. As culturas de primavera/verão foram semeadas com semeadora de plantio direto equipada com sulcador, e as de inverno, com disco duplo desencontrado. Foram utilizados os cultivares recomendados para a região, aplicando-se tratamentos fitossanitários quando necessário.

As avaliações de produção das culturas e de características do solo foram realizadas por mais 4 anos após a última aplicação parcelada de calcário, totalizando 8 anos. Foi avaliada a produção de matéria seca de ervilhaca-comum em amostra coletada em 0,5m<sup>2</sup> e seca em estufa a 60°C até massa constante, e produção de grãos de triticale, soja e milho na área útil de, respectivamente, 2, 4,5 e 14,4 m<sup>2</sup>, a qual foi padronizada para 13% de umidade e convertida para kg/ha. As amostragens de solo foram realizadas ao final do ciclo das culturas de verão, em diferentes tempos após a aplicação superficial de calcário, variando entre experimentos. Nos experimentos 1 e 2 foram coletadas amostras de solo nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10 e 10 a 20cm de profundidade aos 47 meses e de até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 30cm de profundidade aos 93 meses após o início dos experimentos, utilizando-se trado modelo “calador”. No experimento 3 foram coletadas amostras nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10, 10 a 15, 15 a 20, 20 a 40 e 40 a 60cm de profundidade aos 93 meses da aplicação superficial das doses de calcário. Em todos os experimentos foram analisados pH em água, Al, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases e por Al. No experimento 3 também foram analisados o pH em KCl 0,01N, acidez titulável (H + Al) e os micronutrientes Zn, Cu e Fe disponíveis. Os atributos químicos foram analisados utilizando-se metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

**Experimento 1** – Os tratamentos consistiram da aplicação superficial de doses de calcário, que corresponderam ao fracionamento ou não da dose estimada pelo I-SMP para atingir o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (17,3t/ha), uma testemunha sem aplicação de calcário e um tratamento com aplicação de ¼ da dose recomendada somente na instalação do experimento, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Identificação dos tratamentos aplicados na superfície durante o período de condução do experimento 1, em um Nitossolo Vermelho Distrófico com necessidade de calcário de 17,3t/ha para elevar o pH em água a 6,0 (1 SMP). Campos Novos, SC

| Tratamento      | Ano de experimentação      |     |     |     |
|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|
|                 | 1º                         | 2º  | 3º  | 4º  |
| SMP             | .....t/ha (PRNT 100%)..... |     |     |     |
| 1/1-0-0-0       | 17,3                       | -   | -   | -   |
| 1/2-0-1/2-0     | 8,7                        | -   | 8,7 | -   |
| 1/2-0-0-1/2     | 8,7                        | -   | -   | 8,7 |
| 1/4-1/4-1/4-1/4 | 4,3                        | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| 1/4-0-0-0       | 4,3                        | -   | -   | -   |
| 0-0-0-0         | -                          | -   | -   | -   |

**Experimento 2** – Esse experimento se diferencia do anterior pelo fato de, na mesma condição de solo, ter sido aplicada meia dose de calcário (1/2 SMP = 8,7t/ha) em toda a área, com incorporação na camada de até 20cm por meio de aração, sub-solagem e gradagem, aproximadamente 50 dias antes da instalação do experimento com aplicação superficial de calcário conforme os tratamentos da Tabela 2.

Tabela 2. Identificação dos tratamentos aplicados na superfície durante o período de condução do experimento 2, em um Nitossolo Vermelho Distrófico com necessidade de calcário de 17,3t/ha para elevar o pH em água a 6,0 (1 SMP). Campos Novos, SC

| Tratamento |                 | Ano de experimentação      |     |     |     |
|------------|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| Incorp.    | Superfície      | 1º                         | 2º  | 3º  | 4º  |
| SMP        | SMP             | .....t/ha (PRNT 100%)..... |     |     |     |
| 1/2        | 1/2-0-0-0       | 8,7                        | -   | -   | -   |
| 1/2        | 1/4-0-1/4-0     | 4,3                        | -   | 4,3 | -   |
| 1/2        | 1/8-0-0-1/8     | 2,2                        | -   | -   | 2,2 |
| 1/2        | 1/8-1/8-1/8-1/8 | 2,2                        | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| 1/2        | 1/8-0-0-0       | 2,2                        | -   | -   | -   |
| 1/2        | 0-0-0-0         | -                          | -   | -   | -   |

**Experimento 3** – Os tratamentos consistiram da aplicação superficial de calcário, em dose única no primeiro ano, correspondente ao fracionamento da dose estimada pelo índice SMP para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até

20cm (Sociedade..., 2004), além de uma testemunha, sem aplicação de calcário. As doses de calcário foram 0, 4,3, 5,8, 8,7 e 17,3t/ha, corrigidas para 100% de PRNT e representando, respectivamente, 0, 1/4, 1/3 1/2 e 1 da quantidade estimada pelo método SMP.

## 1.2 Chapecó

Os experimentos 4 e 5 foram conduzidos no município de Chapecó, na região Oeste Catarinense, em solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Embrapa, 2004), por 12 e 4 anos, respectivamente. O clima da região é do tipo Cfa, de acordo com a classificação climática de Köppen (Pandolfo et al., 2002). O histórico de uso da área apresentava dois e três anos de semeadura direta de soja e aveia antes da instalação dos experimentos 4 e 5 respectivamente. O solo do experimento 4 apresentava, na camada até 20cm, os seguintes atributos: 620g/kg de argila, 4,9 de pH em água, 5,2 de índice SMP, 12mg/dm<sup>3</sup> de P disponível, 244mg/dm<sup>3</sup> de K trocável, 38g/dm<sup>3</sup> de MO; 1,4cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Al trocável, 2,3cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca trocável, 1,3cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg trocável, e 8t/ha de necessidade de calcário para elevar o pH a 6,0 (1 SMP). O solo do experimento 5 apresentava, na camada de até 20cm, os seguintes atributos: 650g/kg de argila, 5,7 de pH-H<sub>2</sub>O; 5,6 de índice SMP, 16mg/dm<sup>3</sup> de P disponível, 324mg/dm<sup>3</sup> de K trocável; 38g/dm<sup>3</sup> de MO, 0cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Al trocável, 5,8cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Ca trocável, 3,6cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de Mg trocável, e necessidade de 5,1t/ha de calcário para elevar o pH em água a 6,0 (1SMP).

Tabela 3. Identificação dos tratamentos com aplicação em dose única ou parcelada da quantidade de calcário recomendada para elevar o pH do solo a 6,0 (8t/ha) durante o período de condução do experimento 4, em um Latossolo Vermelho Distroférico. Chapecó, SC

| Tratamento                               | Ano de experimentação      |    |    |    |    |    |
|------------------------------------------|----------------------------|----|----|----|----|----|
|                                          | 1º                         | 2º | 3º | 4º | 5º | 7º |
|                                          | .....t/ha (PRNT 100%)..... |    |    |    |    |    |
| Sem calcário (S)                         | 0                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 SMP (1/4 da dose anualmente – S)       | 2                          | 2  | 2  | 2  | 0  | 0  |
| 1 SMP (1/4 da dose a cada dois anos – S) | 2                          | 0  | 2  | 0  | 2  | 2  |
| 1 SMP (1/2 da dose a cada três anos – S) | 4                          | 0  | 0  | 4  | 0  | 0  |
| 1 SMP (todo no 1º ano – S)               | 8                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 1 SMP (todo no 1º ano – I)               | 8                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |
| Sem calcário (I)                         | 0                          | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |

\* S = aplicação superficial do calcário; I = Com incorporação do calcário no 1º ano.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos completos casualizados, com quatro repetições. No experimento 4, o calcário foi aplicado em duas vezes, sendo a metade da dose antes da aração e uma gradagem e a outra metade antes da segunda gradagem, seguindo as recomendações da CFS-NRS (1995). A incorporação do calcário no experimento 5 foi realizada com uma aração (arado de discos) e uma gradagem com grade niveladora. Os tratamentos com aplicação incorporada do calcário ocorreram somente no primeiro ano de experimentação; posteriormente, a condução foi sempre em sistema de plantio direto, sem reaplicação dos tratamentos. No experimento 5 foi utilizada uma rotação de culturas de 2 anos, com a sequência tritical/soja - ervilhaca-comum/milho, por um período de 4 anos. No experimento 4 foi utilizada, por 6 anos, a mesma rotação de culturas empregada no experimento 5 e, posteriormente, somente a sucessão tritical/soja. A adubação com N, P e K para as culturas comerciais seguiu as recomendações oficiais vigentes na época da condução dos experimentos (CFS-NRS, 1995; Sociedade..., 2004). Os tratamentos fitossanitários foram utilizados sempre que necessários.

Foram avaliados os rendimentos de grãos de tritical, soja e milho pela determinação do rendimento de grãos na área útil da parcela, com correção da umidade para 13% e conversão para kg/ha. No experimento 4, após o último cultivo (12º ano), foram analisados o pH em água, Ca, Mg e Al trocáveis e saturação por bases e por Al, em amostras coletadas nas camadas de até 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40 e 40 a 50cm de profundidade, utilizando-se, concomitantemente, pá de corte na amostragem das camadas de até 20cm e trado modelo holandês nas demais camadas. No experimento 5, após o último cultivo (5º ano) foram analisados pH em água e Ca, Mg e Al trocáveis em amostras de solo coletadas na camada de até 20cm, utilizando-se trado modelo holandês. Os atributos químicos do solo foram analisados conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

**Experimento 4** – Os tratamentos consistiram da aplicação superficial ou incorporada de calcário dolomítico, em dose única ou parcelada, calculada a partir da quantidade estimada pelo índice SMP para elevar o pH em água a 6,0 (CFS-NRS, 1995), conforme consta na Tabela 3. As doses de calcário foram corrigidas para 100% de PRNT, e aplicadas conforme cada tratamento. Do oitavo ao 12º ano foi avaliado o efeito residual das doses aplicadas até então.

**Experimento 5** – Os tratamentos consistiram da aplicação superficial de calcário dolomítico, em dose única ou parceladas, calculadas a partir da dose estimada pelo índice SMP para elevar o pH em água a 6,0 (CFS-NRS, 1995). As doses de calcário foram corrigidas para 100% de PRNT e aplicadas conforme os tratamentos apresentados na Tabela 4.

## 1.3 Análise estatística

Para os experimentos 1, 2, 4 e 5, os atributos químicos do solo e o rendimento de grãos de milho, soja e triticale e de massa seca da ervilhaca-comum foram submetidos à análise de variância. Quando o teste de F apresentou significância igual a 95% ou mais, os dados de rendimentos de grãos e de massa seca foram submetidos ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias. Em cada camada de solo, as médias dos atributos químicos foram comparadas entre os tratamentos pela diferença mínima significativa (DMS), com probabilidade de erro menor do que 5%. No experimento 3, o efeito das doses de calcário sobre os atributos químicos do solo, determinados em amostras coletadas aos 93 meses após a aplicação dos tratamentos, foi avaliado por meio da análise de variância e por regressões entre os atributos e as doses aplicadas, aceitando-se coeficientes de determinação significativos a 5% ( $p < 0,05$ ).

Tabela 4. Identificação dos tratamentos de parcelamento da dose de 5,1t/ha (1 SMP para pH em água 6,0) de calcário, aplicados durante o período de condução do experimento 5, em um Latossolo Vermelho Distroférrico. Chapecó, SC

| Tratamento                               | Ano de experimentação      |     |     |     |
|------------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
|                                          | 1º                         | 2º  | 3º  | 4º  |
|                                          | .....t/ha (PRNT 100%)..... |     |     |     |
| Sem calcário (S) <sup>(1)</sup>          | -                          | -   | -   | -   |
| 1 SMP (1/4 da dose anualmente - S)       | 1,3                        | 1,3 | 1,3 | 1,2 |
| 1 SMP (1/2 da dose a cada dois anos - S) | 2,6                        | -   | 2,5 | -   |
| 1 SMP (1/2 da dose a cada três anos - S) | 2,6                        | -   | -   | 2,5 |
| 1 SMP (todo no 1º ano - S)               | 5,1                        | -   | -   | -   |
| 1 SMP (todo no 1º ano - I)               | 5,1                        | -   | -   | -   |
| Sem calcário (I)                         | -                          | -   | -   | -   |

<sup>(1)</sup> S = aplicação superficial do calcário; I = Com incorporação do calcário no 1º ano.

## 2 Resultados e discussão

### 2.1 Atributos de solo

#### 2.1.1 Nitossolo Vermelho Distrófico (Campos Novos, SC)

Aos 47 meses após a instalação do experimento 1, observou-se efeito do calcário aplicado na superfície do solo sobre pH em água, Al, Ca e Mg trocáveis e sobre a saturação por bases e por Al até 20cm de profundidade (Figura 1). Esses resultados concordam com os obtidos por Soratto & Crusciol (2008), os quais observaram que

a aplicação de calcário na superfície do solo, em SPD recém-implantado, aumentou os teores de Ca e Mg e diminuiu a acidez do solo na coleta realizada aos 18 meses após a aplicação, principalmente nas camadas superficiais. Na maioria das camadas e atributos analisados, observou-se que o tratamento com aplicação de  $\frac{1}{4}$  da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 difere da testemunha e também dos demais tratamentos. De forma geral, os valores de pH em água, Ca e Mg trocáveis e saturação por bases foram menores, e os teores de Al trocável e saturação por Al foram maiores na testemunha (sem aplicação de calcário), seguida do tratamento da aplicação de  $\frac{1}{4}$  da dose e dos demais tratamentos. Os tratamentos com aplicação da dose recomendada (1 SMP), parcelada ou não, apresentaram comportamento semelhante em cada camada do solo. Verificou-se ainda que, com exceção da testemunha, todos os tratamentos apresentam pH em água acima de 5,0 até 10cm de profundidade, variando de 5,1 no tratamento de  $\frac{1}{4}$  da dose até 6,3 no tratamento com a dose integral, ambas aplicadas no primeiro ano. Essa alteração no pH em água se refletiu nos demais atributos do solo, com redução do Al trocável e da saturação por esse elemento na CTC e aumento do Ca e do Mg trocáveis.

Por outro lado, 5 anos após a última aplicação de calcário (Figura 2), verificou-se que o corretivo ainda exerce efeito sobre o pH em água até 10cm de profundidade sobre o Al e o Ca trocáveis, saturação por bases e por alumínio até 20cm e sobre Mg trocável até 30cm de profundidade. O maior aumento dos teores de Mg trocável em profundidade em relação ao Ca trocável pode estar relacionado ao fato de o Mg ser menos fortemente retido no complexo de troca (Barber, 1984) devido a seu maior raio hidratado, menor eletronegatividade e, conseqüentemente, estar presente em concentração mais alta na solução do solo (Oliveira et al., 2002), possibilitando maior movimentação no perfil. Isso foi constatado nos experimentos 2, 3 e 5 quando o Mg foi avaliado em diferentes camadas do solo.

Da mesma forma como verificado na análise do solo realizada 47 meses após a aplicação dos tratamentos, os dados obtidos aos 93 meses (Figura 2) sugerem que a aplicação única ou parcelada da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 apresenta o mesmo comportamento no solo a médio e longo prazos, inferindo-se que quantidade aplicada é mais importante do que o seu parcelamento ou não.

Comportamento semelhante ao do estudo anterior foi observado nos atributos do solo do experimento 2, quando os mesmos parcelamentos foram aplicados, porém para  $\frac{1}{2}$  SMP, após incorporação da outra metade da dose recomendada para elevar o pH em água a 6,0. Observa-se, na Figura 3, que há um comportamento semelhante entre os parcelamentos que integralizaram a dose máxima. Verifica-se que há efeito do calcário até a camada de 10 a 20cm aos 47 meses após o início do experimento, com exceção do Ca trocável e da saturação por bases, que foram modificados nas três primeiras camadas, atingindo 10cm de profundidade. Aos 93 meses, no entanto, os efeitos do calcário só foram observados até a profundidade de 10cm (Figura 4). Nessa amostragem, os valores de pH em água variaram de 5,3 a 5,7 na camada de 10 a 20cm, com reflexos nos demais atributos, como o Al trocável, que

1999

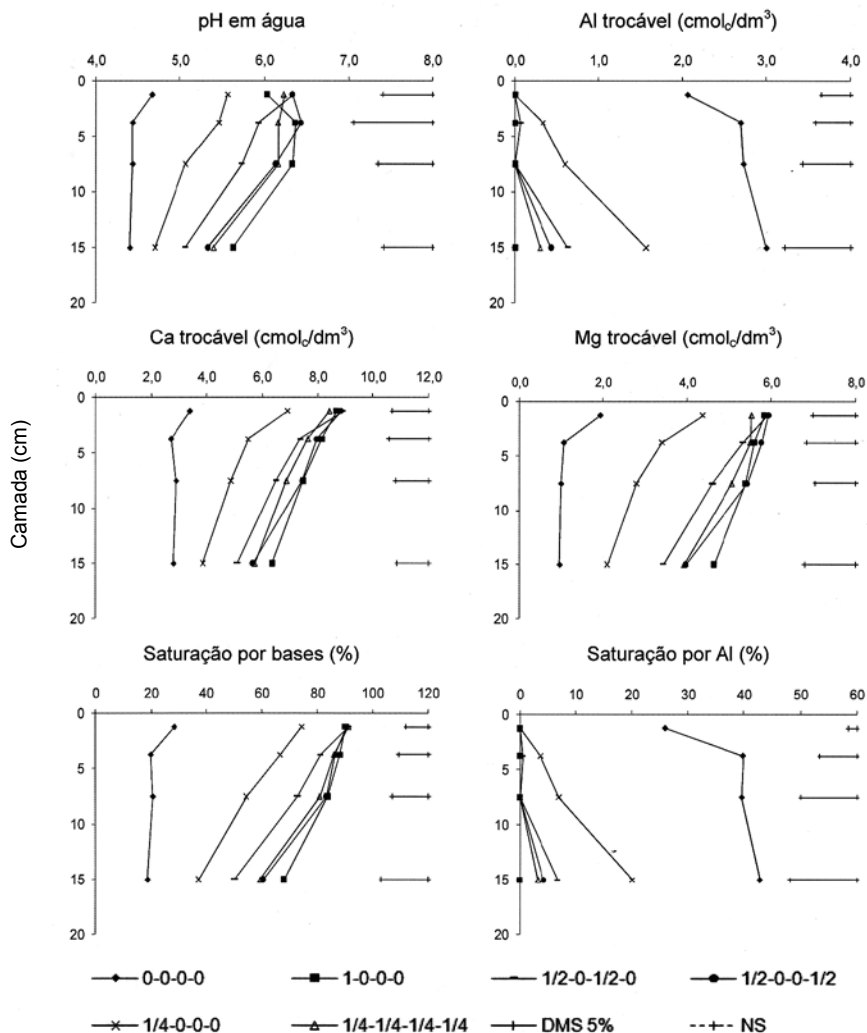


Figura 1. Atributos químicos do solo em quatro camadas de um Nitossolo Vermelho aos 47 meses de condução do experimento, 12 meses depois de encerrada a aplicação dos parcelamentos da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (17,3t/ha). Campos Novos, 1999

2003

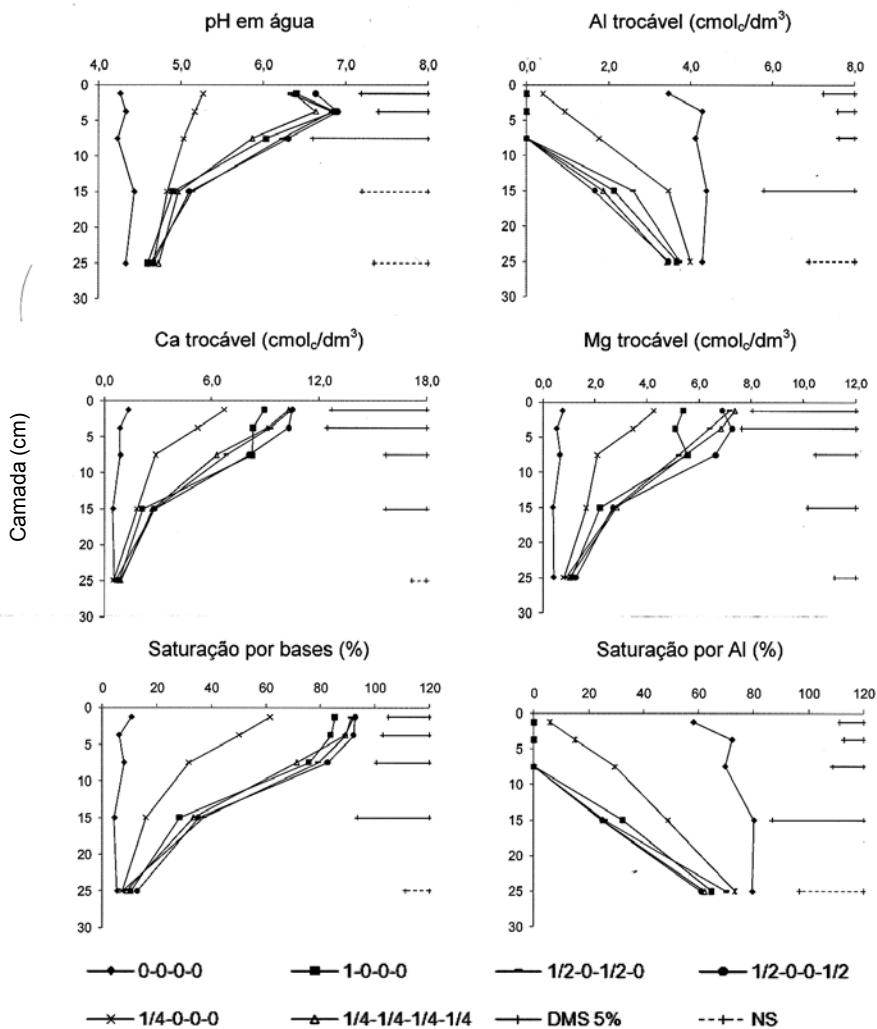


Figura 2. Atributos químicos em quatro camadas de um Nitossolo Vermelho determinados em amostras coletadas aos 93 meses de condução do experimento, 48 meses depois de encerrada a aplicação dos parcelamentos da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (17,3t/ha). Campos Novos, 2003

se manteve abaixo de  $1\text{cmol/dm}^3$ , e a saturação por Al abaixo de 10%, com exceção do tratamento de  $\frac{1}{4}$  da metade da dose aplicada, que apresentou, em geral, valores maiores. Deve-se ressaltar que valor de saturação por alumínio menor do que 10% se constitui em um dos critérios para a recomendação ou não de calagem para cultivo de grãos (Sociedade..., 2004).

No experimento 3, o calcário aplicado na superfície ou em dose única no primeiro ano apresenta efeito significativo sobre a maioria dos atributos químicos estudados, em coleta de solo realizada aos 93 meses após sua aplicação (Figuras 5 e 6). Houve aumento do pH em água, do pH em KCl e do Ca e Mg trocáveis e redução do H + Al e do Al e Mn trocáveis nas camadas superficiais, como indicam os ajustes significativos das equações de regressão entre as doses aplicadas e os teores no solo em cada camada amostrada (Figuras 5 e 6). Teores de Al trocável menores do que  $1\text{cmol/dm}^3$  foram encontrados até a profundidade de 10cm nas três doses mais altas de calcário, que representam  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$  e 1 SMP da recomendação para atingir pH em água de 6,0 na camada de até 20cm.

Verificou-se que os valores de pH em água e em KCl na camada de 2,5 a 5cm são maiores do que aqueles encontrados na camada de até 2,5cm nas três doses mais altas de calcário (Figura 1). Isso pode indicar a ocorrência de uma frente de acidificação a partir da superfície devido à aplicação de fontes de nitrogênio que podem promover a redução do pH do solo, assim como por consequência do processo de pedogênese que determina, ao longo do tempo, lixiviação dos cátions básicos ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{K}^{+}$ ) e aumento proporcional dos cátions ácidos ( $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^{+}$ ).

Embora as doses de calcário tenham aumentado o pH em água nas camadas de 20 a 40 e 40 a 60cm, isso não se refletiu em aumento significativo no pH em KCl, pois os ajustes das regressões polinomiais testadas nessas camadas não foram significativos. Os valores de pH em KCl ficaram, em média, 0,5 unidade abaixo do pH em água até a profundidade de 20cm, indicando haver carga líquida negativa nas condições de pH encontradas nesse solo.

As doses de calcário aumentaram significativamente os teores de Ca e Mg trocáveis, respectivamente até as camadas de 5 a 10 e 20 a 40cm, como indicam os ajustes das equações de regressão (Figura 6). A partir da dose de 4,3t/ha ( $\frac{1}{4}$  SMP), os teores de Ca trocável encontrados nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10cm são interpretados como de disponibilidade média a alta (Sociedade..., 2004). Por outro lado, embora as doses de calcário tenham aumentado os teores de Mg trocável até 40cm de profundidade, na camada de 20 a 40cm os teores desse elemento ficaram abaixo de  $0,6\text{cmol/dm}^3$  em qualquer dose aplicada, sendo interpretados como de disponibilidade baixa para as culturas (Sociedade..., 2004).

As doses de calcário diminuíram significativamente os teores de Mn trocável nas três camadas superficiais do solo, ou seja, até 10cm de profundidade (Figura 6). Na camada de até 2,5cm, o teor de Mn trocável reduziu de  $56,8\text{mg/dm}^3$  na testemunha, sem aplicação de calcário, para  $6,1\text{mg/dm}^3$  na dose de 17,3t/ha. A redução do Mn trocável com o aumento do pH do solo é demonstrada pela equação de regressão exponencial entre as duas variáveis ( $Y = 4384e^{-1,0688x}$ ), em que Y é o teor

1999

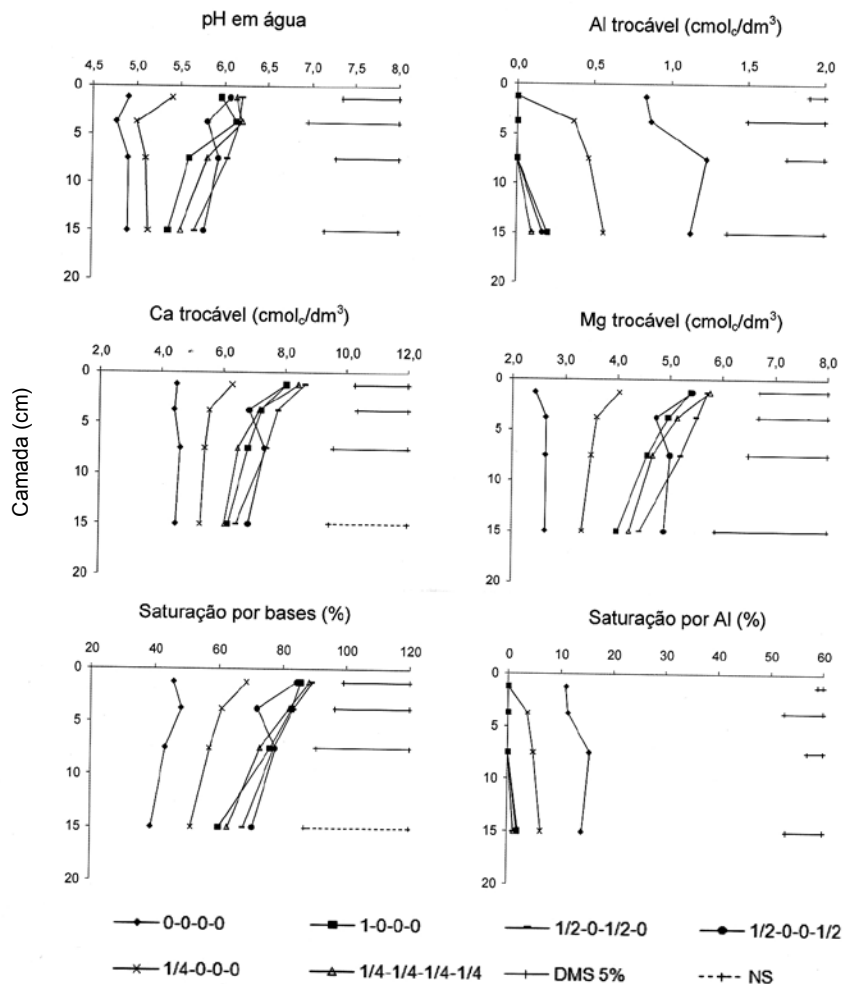


Figura 3. Atributos químicos em quatro camadas de um Nitossolo Vermelho Distrófico determinados em amostras coletadas aos 47 meses após a instalação do experimento, 12 meses depois de encerrada a aplicação dos parcelamentos da metade da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (8,7t/ha incorporada + 8,7t/ha parcelada). Campos Novos, 1999

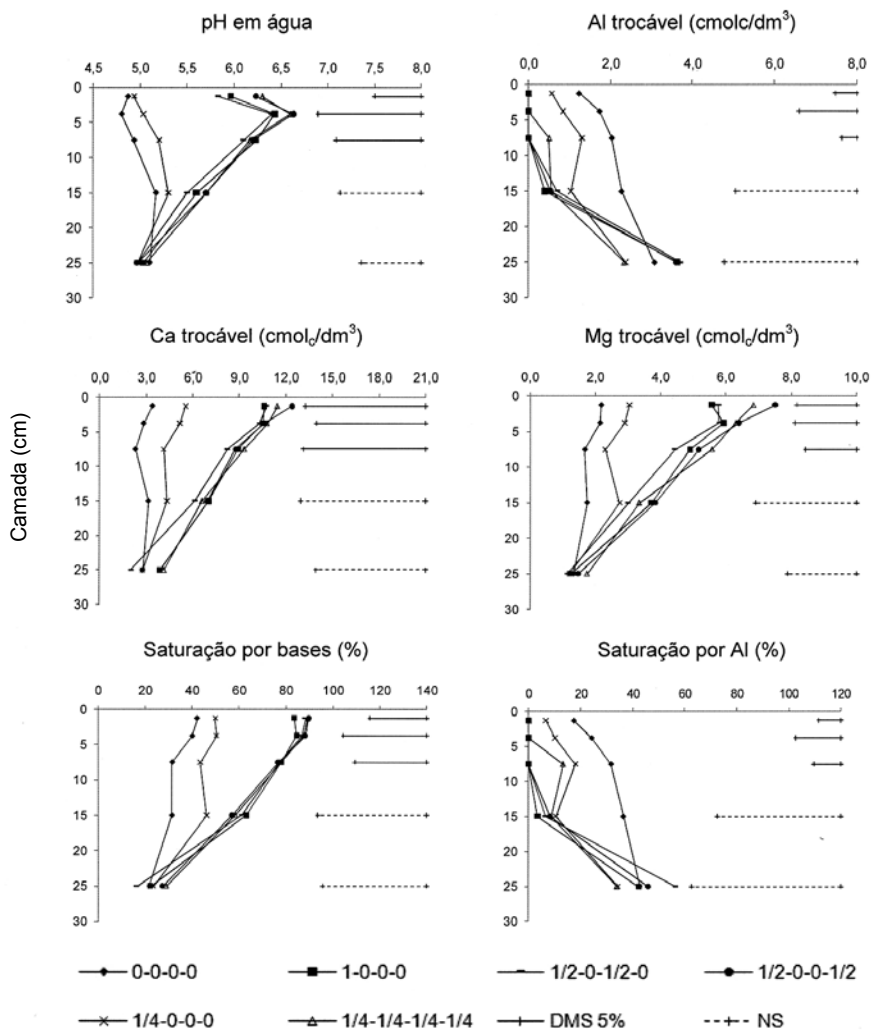


Figura 4. Atributos químicos em quatro camadas de um Nitossolo Vermelho Distrófico determinados em amostras coletadas aos 93 meses após a instalação do experimento, 60 meses depois de encerrada a aplicação dos parcelamentos da metade da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (8,7t/ha incorporada + 8,7t/ha parcelada). Campos Novos, 2003

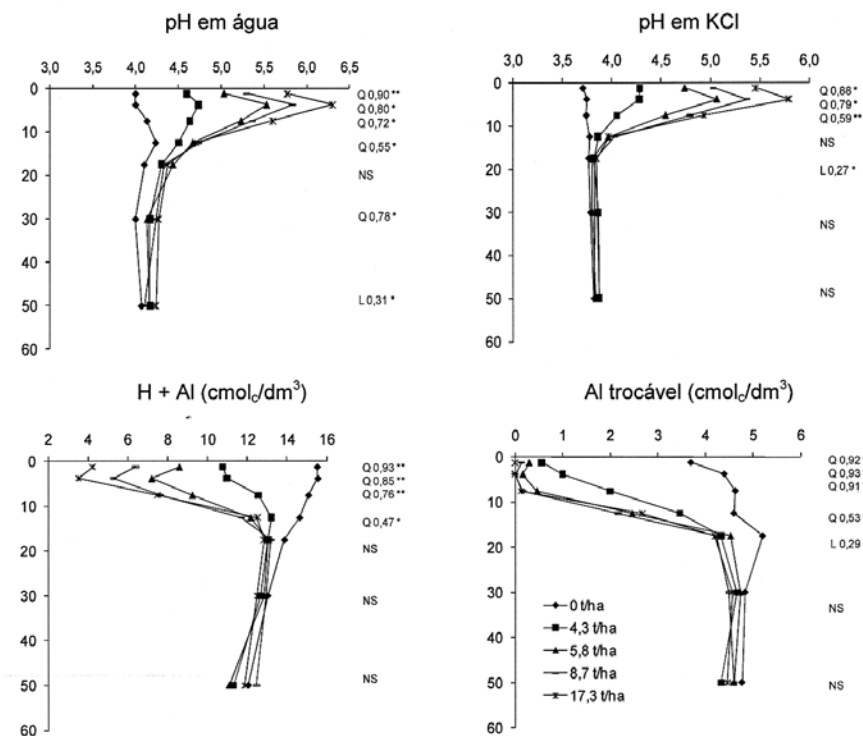


Figura 5. Atributos de acidez no perfil de 60cm superficiais de um Nitossolo Vermelho Distrófico determinados em amostras coletadas aos 93 meses após a aplicação superficial de doses de calcário, e coeficiente de determinação das regressões significativas entre as doses de calcário e o atributo em cada camada analisada. L = efeito linear e Q = efeito quadrático, por regressão polinomial. \*, \*\* e NS = significativos a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e não significativo respectivamente (Pandolfo & Veiga, 2007)

de Mn trocável e x o pH em água, com coeficiente de determinação de 0,81 ( $P < 0,01$ ) quando incluídos todos os pares de dados das camadas de até 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10cm. O aumento do pH em água do solo nas camadas de até 5 e 5 a 10cm, devido à calagem superficial, pode resultar na redução da disponibilidade e da absorção de Mn pela cultura da soja, como também determinado por Caires & Fonseca (2000) em um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico. Esses autores alertaram para a necessidade de estabelecer critérios adequados para a estimativa da dose de calcário a ser aplicada no SPD para evitar esse problema. Um dos critérios para recomendação de calagem em SPD consolidado é o do pH em água  $> 5,5$ , utilizado pela Sociedade... (2004), também proposto por Nolla & Anghinoni (2006) no estudo de critérios de calagem para a soja no SPD consolidado em Nitossolo Vermelho.

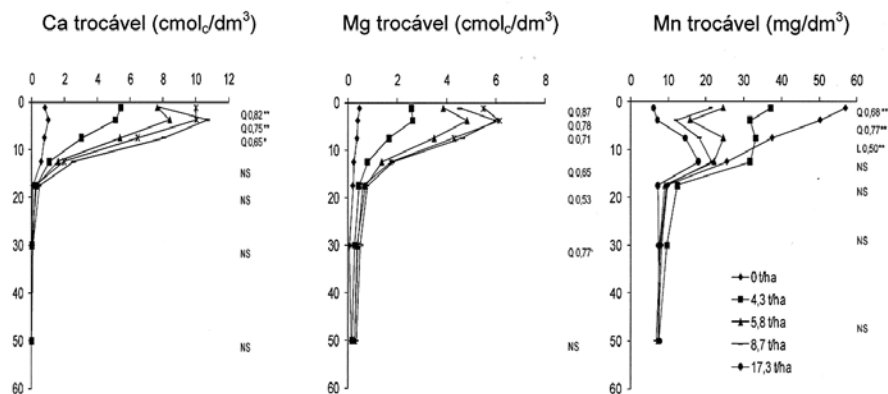


Figura 6. Teores de cálcio, magnésio e manganês trocáveis no perfil de 60cm de profundidade de um Nitossolo Vermelho, determinados em amostras coletadas 93 meses após a aplicação superficial de doses de calcário, e coeficiente de determinação das regressões significativas entre as doses de calcário e o atributo em cada camada analisada. L = efeito linear e Q = efeito quadrático, por regressão polinomial. \*, \*\* e NS: significativos a  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e não significativo respectivamente (Pandolfo & Veiga, 2007)

Aos 93 meses após o início do estudo, verificou-se que os teores de Cu, Zn e Fe disponíveis não variaram em nenhuma das camadas com as doses aplicadas (Tabela 5), ao contrário do que ocorreu com o Mn. Isso pode ser explicado pelo fato de que, no momento da amostragem, os valores pH se encontravam abaixo de 6,0 em todas as camadas avaliadas, com exceção da camada de 2,5 a 5cm, onde o pH foi de 6,3, uma vez que o aumento do pH do solo diminui a disponibilidade desses micronutrientes (Barber, 1984). Ernani et al. (2002) constataram que a calagem não teve efeitos consistentes sobre a disponibilidade de micronutrientes no solo já que, com o aumento das doses de calcário, houve redução de Fe e Cu disponíveis mas não houve efeito sobre Zn disponível e Mn trocável, remanescendo todos em níveis de suficiência no solo mesmo com a aplicação da maior dose de calcário, que foi de 18t/ha, similar à dose máxima aplicada no presente estudo. A não alteração dos teores de Zn, Mn, Fe e Cu pela aplicação de calcário em Latossolos, incorporado ou não, foi observada também por Camargo et al. (1997) na camada superficial do solo e por Soratto & Crusciol (2008) na camada de até 20cm. Por outro lado, Caires e Fonseca (2000) verificaram que houve redução na absorção de Zn e Mn pela soja com a aplicação de calcário na superfície de um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, o que foi relacionado com o aumento do pH nas camadas de até 5 e 5 a 10cm.

Tabela 5. Teores de zinco, cobre e ferro no solo, determinados em amostras coletadas 93 meses após a aplicação de doses de calcário na superfície de um Nitossolo Vermelho Distrófico. Campos Novos, 2003

| Elemento<br>Camada (cm)  | Quantidade de calcário aplicada em dose única (t/ha) |       |      |      |                     |
|--------------------------|------------------------------------------------------|-------|------|------|---------------------|
|                          | 0                                                    | 4,3   | 5,8  | 8,7  | 17,3                |
| Zn (mg/dm <sup>3</sup> ) |                                                      |       |      |      |                     |
| Até 2,5                  | 1,07                                                 | 1,60  | 1,80 | 1,33 | 0,63 <sup>(1)</sup> |
| 2,5 a 5                  | 0,87                                                 | 1,07  | 0,97 | 1,07 | 2,17                |
| 5 a 10                   | 0,63                                                 | 1,20  | 0,93 | 0,63 | 0,53                |
| 10 a 15                  | 0,63                                                 | 0,53  | 0,50 | 0,50 | 0,33                |
| 15 a 20                  | 0,20                                                 | 1,70  | 0,47 | 0,30 | 0,23                |
| 20 a 40                  | 0,27                                                 | 1,17  | 0,27 | 0,20 | 0,20                |
| 40 a 60                  | 0,67                                                 | 0,40  | 0,17 | 0,50 | 0,15                |
| Cu (mg/dm <sup>3</sup> ) |                                                      |       |      |      |                     |
| Até 2,5                  | 2,83                                                 | 3,23  | 2,23 | 1,33 | 1,63 <sup>(1)</sup> |
| 2,5 a 5                  | 10,10                                                | 11,80 | 7,60 | 6,60 | 6,30                |
| 5 a 10                   | 3,70                                                 | 4,20  | 3,87 | 3,00 | 3,20                |
| 10 a 15                  | 3,67                                                 | 4,27  | 4,37 | 3,97 | 3,40                |
| 15 a 20                  | 3,47                                                 | 5,20  | 4,43 | 4,77 | 3,63                |
| 20 a 40                  | 3,17                                                 | 2,73  | 4,83 | 4,07 | 3,27                |
| 40 a 60                  | 1,97                                                 | 2,37  | 4,77 | 3,73 | 2,87                |
| Fe (g/dm <sup>3</sup> )  |                                                      |       |      |      |                     |
| Até 2,5                  | 0,32                                                 | 0,41  | 0,29 | 0,21 | 0,39 <sup>(1)</sup> |
| 2,5 a 5                  | 0,32                                                 | 0,45  | 0,36 | 0,29 | 0,40                |
| 5 a 10                   | 0,34                                                 | 0,44  | 0,42 | 0,35 | 0,46                |
| 10 a 15                  | 0,29                                                 | 0,41  | 0,48 | 0,51 | 0,45                |
| 15 a 20                  | 0,23                                                 | 0,36  | 0,41 | 0,42 | 0,37                |
| 20 a 40                  | 0,20                                                 | 0,30  | 0,36 | 0,34 | 0,37                |
| 40 a 60                  | 0,32                                                 | 0,35  | 0,30 | 0,39 | 0,39                |

<sup>(1)</sup> Regressões não significativas entre os teores e as doses aplicadas ( $p > 0,05$ ), dentro de cada camada.

### 2.1.2 Latossolo Vermelho Distroférico (Chapecó, SC)

Os atributos químicos do solo com maior necessidade de calcário (experimento 4), em amostras coletadas 13 anos após a aplicação da dose de calcário recomendada para pH 6,0 com e sem incorporação ao solo, são mostrados na Figura 7. Observou-se efeito dos tratamentos no pH em água até a profundidade de 20cm nos teores de Al e Ca trocáveis e na saturação por bases até a profundidade de 40cm e nos teores de Mg trocável e na saturação por Al até a profundidade de 60cm. Os resultados obtidos concordam com os de outros relatos de pesquisa que mostram efeito positivo da calagem superficial no sistema de plantio direto sobre atributos químicos do solo em profundidade. Caires et al. (2000), em Latossolo Vermelho-Escuro Distroférico, observaram aumento do pH e diminuição da acidez trocável até 20cm, após 12 meses da calagem em aplicação superficial, chegando a até 60cm após 58 meses. Em outro estudo realizado em Latossolo Vermelho Distroférico, manejado por 15 anos no sistema de plantio direto, Caires et al. (2002) obtiveram aumento de pH e diminuição da acidez trocável até 60cm de profundidade após 92 meses da calagem superficial. Kaminski et al. (2005), por sua vez, observaram que os efeitos ocorreram em profundidades variando de 7 a 25cm 7 anos após a calagem superficial, dependendo do atributo considerado e da dose aplicada.

De modo geral, não houve diferença significativa entre os tratamentos com parcelamento ou não da dose de calcário para todos os atributos e na maioria das camadas de solo. As diferenças significativas ocorreram predominantemente entre os tratamentos com aplicação de calcário (dose integral ou parcelada) e as testemunhas (sem aplicação de calcário) ou entre a testemunha e o tratamento com a dose integral incorporada no primeiro ano. Kaminski et al. (2005) também observaram efeitos mais expressivos nos atributos do solo quando o calcário foi aplicado em dose única, antes do início da implantação do sistema de plantio direto, e em profundidades maiores quando o corretivo foi incorporado ao solo por aração e gradagens. Isso demonstra que o calcário aplicado em dose única na camada arável ou na superfície do solo sob SPD influenciou mais os atributos químicos ao longo do perfil do solo do que quando aplicado de forma parcelada num período de 4 anos. Por outro lado, em não se encontrando diferenças nos atributos do solo entre os tratamentos com aplicação integral da dose de calcário no primeiro ano e os com parcelamento da dose, pode-se inferir que a calagem realizada em dose única apresenta maior efeito residual. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam as tendências já relatadas por Caires et al. (2000 e 2002), que também encontraram prolongado efeito residual da calagem em solo em SPD.

Embora não haja diferença significativa entre os tratamentos com calcário, os valores de Ca e Mg trocáveis e de saturação por bases são maiores e os de Al trocável e de saturação por alumínio menores quando da incorporação do calcário. Provavelmente, após transcorrido esse tempo desde a aplicação de calcário, o efeito residual já tenha diminuído ou esteja diluído ao longo do perfil, pois, como se observa na Figura 7, o pH se encontra abaixo de 5,5 desde a primeira camada avaliada (até

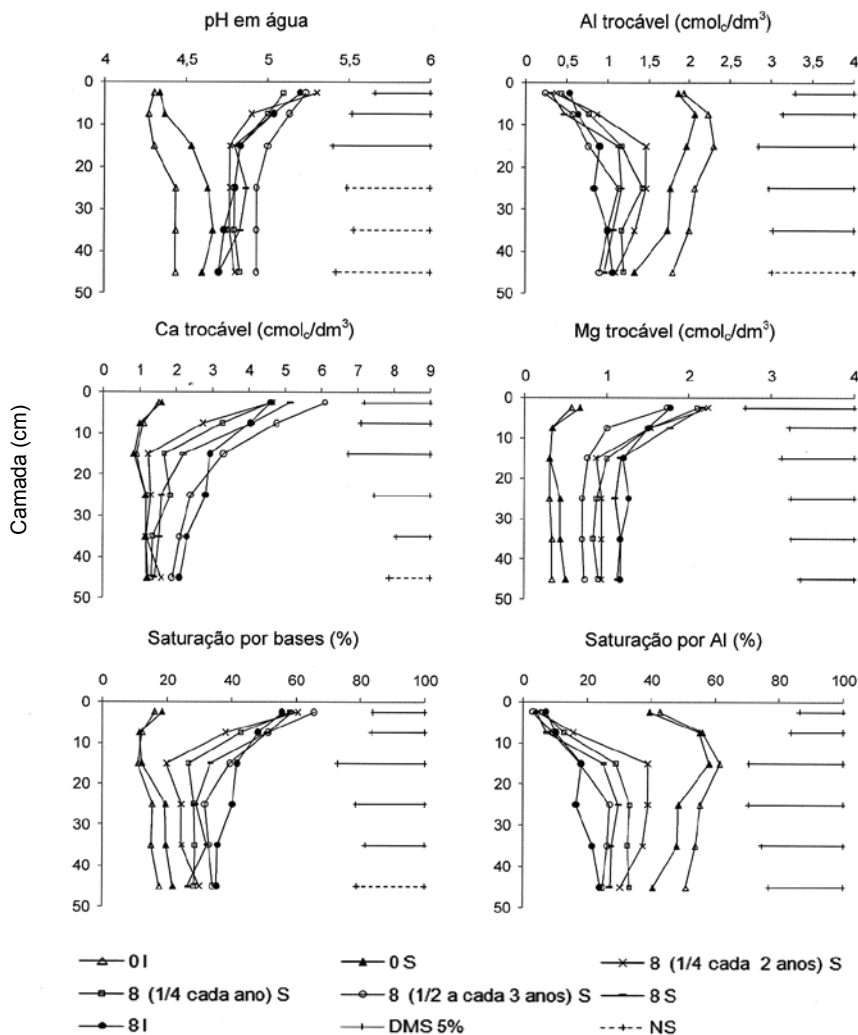


Figura 7. Atributos químicos em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico 13 anos após a instalação do experimento e 8 anos após a última aplicação de calcário (Chapecó, 2008). I = Incorporado; S = Superficial; 8 = 8t/ha

5cm). Por outro lado, aumentos dos teores de Ca e Mg e de saturação por bases, e diminuição do Al trocável e saturação por alumínio são observados pelo menos até 40cm. O aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis nas camadas mais profundas é extremamente importante para o crescimento radicular nessas camadas. O Ca, por exemplo, é considerado um elemento estrutural para as plantas, já que faz parte da

parede celular, e sua deficiência afeta, entre outros processos, o crescimento das raízes (Sousa et al., 2007). A melhoria do ambiente em profundidade, mesmo que o pH do solo não esteja em níveis considerados favoráveis ao crescimento das plantas, contribui para aumentar a relação Ca/Al, diminuindo a toxidez do alumínio às plantas e favorecendo o aprofundamento do sistema radicular, principalmente na busca de água.

Em Latossolo com menor necessidade de calcário (5,1t/ha), a forma de aplicação do corretivo, incorporado ao solo ou superficial com parcelamentos, não exerceu efeito diferenciado sobre os atributos químicos avaliados na camada de até 20cm (Tabela 6). Verificou-se somente efeito positivo dos tratamentos com calcário em comparação às testemunhas sem calagem.

Após 4 anos, o pH do solo se manteve acima do previsto com incorporação da quantidade de calcário recomendada para pH 6,0. O mesmo aconteceu quando da aplicação superficial da mesma dose no primeiro ano. Os tratamentos com aplicação parcelada da mesma dose de calcário, embora sem comprovação estatística, apresentaram valores de pH mais elevados na mesma camada do solo. Esses resultados indicam que houve superestimação da quantidade de calcário necessária para elevar o pH a 6,0. Valores de pH mais altos, observados com aplicação de calcário de forma parcelada, indicam que, provavelmente, alguma porção do calcário da última aplicação continua reagindo, o que faz com que a diferença entre os tratamentos com aplicação do calcário no primeiro ano e o parcelamento da mesma dose durante os anos sejam maiores na camada superficial do solo.

Tabela 6. Atributos químicos na camada de até 20cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico com baixa necessidade de calcário, em amostras coletadas 4 anos após a aplicação incorporada da dose de calcário recomendada para elevar o pH em água a 6,0 (5,1t/ha) e aplicação superficial de diferentes parcelamentos da mesma dose. Chapecó, 1999

| Tratamento                             | pH    | Al                              | Ca     | Mg    |
|----------------------------------------|-------|---------------------------------|--------|-------|
|                                        |       | .....cmol/dm <sup>3</sup> ..... |        |       |
| Sem calcário (S)                       | 5,6bc | 0,1 <sup>ns</sup>               | 5,1bc  | 2,5bc |
| 1 SMP (¼ da dose anualmente – S)       | 6,3a  | 0,0                             | 6,6a   | 3,2ab |
| 1 SMP (½ da dose a cada dois anos - S) | 6,4a  | 0,0                             | 6,7a   | 2,9ab |
| 1 SMP (½ da dose a cada três anos - S) | 6,4a  | 0,0                             | 6,2ab  | 3,7a  |
| 1 SMP (todo no 1º ano – S)             | 6,1ab | 0,0                             | 6,2ab  | 3,4ab |
| 1 SMP (todo no 1º ano – I)             | 6,1ab | 0,0                             | 5,7abc | 2,7bc |
| Sem calcário (I)                       | 5,5c  | 0,1                             | 4,8c   | 1,9c  |

Nota: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, p < 0,05); <sup>ns</sup> = não significativo; S = superfície; I = incorporado.

Os teores de Al trocável não foram influenciados pelos tratamentos aplicados, pois o pH do solo que não recebeu calagem se manteve acima de 5,5, numa faixa em que quase todo Al se encontra na forma oxídica (não trocável). Maiores teores de Ca e Mg trocáveis no solo foram observados quando da aplicação da dose de calcário recomendada, não havendo diferenças entre os tratamentos com calcário; apenas entre eles e a testemunha. Se forem considerados os critérios de calagem utilizados pela Sociedade... (2004) para a condição de plantio direto consolidado, que são de pH em água < 5,5, saturação por bases < 65% e saturação por Al < 10% na camada de até 10cm, verifica-se que tais condições foram integralmente satisfeitas com a dose aplicada e que, mesmo após 4 anos de efeito residual, não haveria necessidade de nova aplicação de calcário.

Embora todos os valores de Ca e Mg trocáveis estejam acima do teor considerado como suficiente para as culturas (Sociedade..., 2004), teores de Ca trocável acima de  $6\text{cmol/dm}^3$  foram encontrados em todos os tratamentos em que houve aplicação de calcário, com exceção da dose integral incorporada no primeiro ano. Com relação ao Mg trocável, o maior teor encontrado foi no tratamento de  $\frac{1}{2}$  SMP da dose aplicada a cada 3 anos, porém esse valor diferiu apenas das testemunhas e do tratamento da dose integral aplicada no primeiro ano e incorporada.

## **2.2 Rendimento de grãos das culturas e de massa seca da ervilhaca**

### **2.2.1 Nitossolo Vermelho Distrófico (Campos Novos, SC)**

Os rendimentos de grãos de triticale somente diferiram entre os tratamentos no 5º ano (experimento 1), em que o melhor tratamento foi o parcelamento de  $\frac{1}{4}$  da dose integral, aplicada anualmente durante quatro anos (Tabela 7). Para a soja, não houve diferenças entre os anos avaliados, observando-se na média dos anos apenas diferença entre a testemunha, sem aplicação de calcário, e os tratamentos com aplicação de calcário, independentemente do parcelamento. A ausência ou a baixa resposta da soja às doses de calcário pode estar relacionada com o manejo do solo em SPD, o qual determina menor toxidez do Al às plantas (Caires et al., 2008), maior retenção de água quando há presença de cobertura vegetal ou palha na superfície do solo (Veiga, 2005) e, em função disso, maior absorção de água e de nutrientes pelas plantas cultivadas (Caires & Fonseca, 2000).

Os rendimentos de massa seca de ervilhaca apresentaram diferença significativa entre os tratamentos apenas no 6º ano de experimentação, quando os maiores valores foram observados nos tratamentos com aplicação de  $\frac{1}{2}$  dose no 1º e 3º anos,  $\frac{1}{2}$  dose no 1º e 4º anos e  $\frac{1}{4}$  da dose no 1º ano, porém diferiram apenas da testemunha, sem calcário (Tabela 8). O milho também apresentou diferenças no rendimento de grãos entre os tratamentos no 6º ano do experimento, com o comportamento igual ao da ervilhaca, e no 8º ano, com comportamento semelhante ao da soja (Tabela 8). No 8º ano, todos os tratamentos com aplicação do calcário,

independentemente de parcelamento e dose, não diferiram entre si e foram superiores à testemunha, sem aplicação de calcário. O aumento da matéria seca da ervilhaca pela aplicação de calcário pode refletir-se em aumento da produção de milho cultivado em sucessão em função do maior aporte de N ao sistema pela fitomassa da ervilhaca, uma vez que o milho é altamente responsivo a esse elemento (Ohland et al., 2005).

O bom desempenho de rendimento do milho e da soja com aplicação de apenas ¼ da dose recomendada para pH 6,0 indica que a melhoria nos atributos químicos proporcionada por essa dose, com aumento do pH e redução da saturação por Al trocável em relação à testemunha, principalmente até a camada de até 10cm (Figuras 1 e 2), foi suficiente para atingir produtividade máxima. Isso também foi constatado no mesmo solo (experimento 2) quando a dose correspondente a 50% da recomendada foi aplicada de forma parcelada na superfície, onde não foram observadas diferenças significativas entre os anos de cultivo para cada cultura e, também, entre os tratamentos de parcelamento sobre os rendimentos médios de grãos de soja e de matéria seca da ervilhaca (Tabela 9). Rendimentos semelhantes de grãos de triticale foram observados em todos os tratamentos em que houve aplicação de calcário, parcelado ou não, embora dois tratamentos não se tenham diferenciado da testemunha (½-0-0-0 e ¼-0-¼-0).

Tabela 7. Rendimento de grãos de triticale e de soja pela aplicação superficial de dose integral ou de parcelamentos da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 17,3t/ha)

| Tratamento                        | Triticale                       |                   |          |                     |       | Soja <sup>1</sup> |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------|---------------------|-------|-------------------|
|                                   | Ano                             |                   |          |                     | Média |                   |
|                                   | 1º                              | 3º                | 5º       | 7º                  |       |                   |
|                                   | .....kg/ha <sup>(1)</sup> ..... |                   |          |                     |       |                   |
| Sem calcário                      | 3.199 <sup>ns</sup>             | 565 <sup>ns</sup> | 2.327 bc | 1.579 <sup>ns</sup> | 1.917 | 1.924 b           |
| Dose integral no 1º ano           | 3.808                           | 575               | 2.389 bc | 1.948               | 2.180 | 2.655 a           |
| ½ dose no 1º e 3º anos            | 3.102                           | 1.103             | 2.246 c  | 2.082               | 2.133 | 2.240 a           |
| ½ dose no 1º e 4º anos            | 3.918                           | 1.102             | 2.783 ab | 1.826               | 2.407 | 2.190 a           |
| ¼ da dose no 1º ano               | 3.402                           | 769               | 2.510 bc | 2.049               | 2.183 | 2.193 a           |
| ¼ da dose no 1º, 2º, 3º e 4º anos | 3.807                           | 775               | 3.047 a  | 1.744               | 2.343 | 2.263 a           |
| CV (%)                            | 12,3                            | 33,0              | 7,9      | 20,4                | 14,5  | 8,9               |

<sup>(1)</sup> Média de quatro anos (1º, 3º, 5º e 7º ano)

Nota: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, p < 0,05); <sup>ns</sup> = não significativo.

Não houve efeito significativo das doses de calcário (experimento 3) sobre o rendimento relativo de grãos de triticale cultivado no 2º, 4º e 6º anos após a aplicação de doses únicas de calcário na superfície, mas houve aumento no

rendimento relativo de soja (Figura 8), e 72% desse aumento pode ser explicado pelos tratamentos de doses de calcário. Observa-se que com a aplicação de ¼ da dose de calcário recomendada para elevar o pH a 6,0 na camada de até 20cm (4,3t/ha) no início do experimento foi possível alcançar 90% do rendimento relativo de grãos de soja na média dos quatro cultivos.

Tabela 8. Rendimento de massa seca de ervilhaca e de grãos de milho pela aplicação superficial da dose integral ou de parcelamentos da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 17,3t/ha)

| Tratamento                        | Ano                 |                     |          |                     | Média |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|-------|
|                                   | 2º                  | 4º                  | 6º       | 8º                  |       |
|                                   | .....kg/ha.....     |                     |          |                     |       |
| Ervilhaca                         |                     |                     |          |                     |       |
| Sem calcário                      | 2.140 <sup>ns</sup> | 1.187 <sup>ns</sup> | 1.527 b  | 2.973 <sup>ns</sup> | 1.957 |
| Dose integral no 1º ano           | 2.687               | 2.047               | 3.307 ab | 2.907               | 2.737 |
| ½ dose no 1º e 3º anos            | 2.007               | 1.653               | 3.900 a  | 2.947               | 2.627 |
| ½ dose no 1º e 4º anos            | 2.200               | 2.380               | 5.147 a  | 2.820               | 3.137 |
| ¼ da dose no 1º ano               | 2.753               | 2.273               | 4.340 a  | 3.367               | 3.183 |
| ¼ da dose no 1º, 2º, 3º e 4º anos | 2.680               | 2.093               | 3.713 ab | 2.673               | 2.790 |
| CV (%)                            | 19,1                | 27,4                | 22,4     | 17,4                | 23,2  |
| Milho                             |                     |                     |          |                     |       |
| Sem calcário                      | 5.961 <sup>ns</sup> | 4.551 <sup>ns</sup> | 6.577 b  | 5.417 b             | 5.726 |
| Dose integral no 1º ano           | 6.314               | 5.742               | 7.313 ab | 9.305 a             | 7.168 |
| ½ dose no 1º e 3º anos            | 6.091               | 5.770               | 8.329 a  | 9.213 a             | 7.351 |
| ½ dose no 1º e 4º anos            | 6.851               | 6.161               | 8.361 a  | 9.660 a             | 7.758 |
| ¼ da dose no 1º ano               | 7.229               | 6.357               | 8.368 a  | 8.673 a             | 7.657 |
| ¼ da dose no 1º, 2º, 3º e 4º anos | 6.110               | 6.079               | 8.073 ab | 9.455 a             | 7.430 |
| CV (%)                            | 12,5                | 9,8                 | 8,4      | 7,9                 | 9,3   |

Nota: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05); ns = não significativo.

O alto rendimento relativo de grãos de soja obtido com a menor dose aplicada em solo originalmente ácido é devido à melhoria dos atributos químicos do solo, como o aumento do pH em água e do Ca e Mg trocáveis e a diminuição do Al trocável (Figuras 5 e 6) em níveis suficientes para a produção dessa cultura. Isso

está de acordo com os resultados obtidos por Caires et al. (2008), que, em Latossolo Vermelho Distrófico, não verificaram influência da aplicação superficial de calcário na produção de soja, e por Caires e Fonseca (2000), que verificaram elevada produção de soja em Latossolo Vermelho ácido, sem aplicação de calcário. Esses autores relacionaram a resposta da soja à baixa toxicidade do Al, que forma complexos com compostos orgânicos presentes na solução do solo e, conseqüentemente, estimula o crescimento radicular pelas condições de menor estresse de acidez no SPD, ou à adequada absorção de água e nutrientes pela cultura nesse sistema de manejo do solo.

Tabela 9. Rendimento de grãos de triticale, soja e milho e de matéria seca de ervilhaca pela aplicação superficial de parcelamentos da metade da dose de calcário, após incorporação da outra metade da dose recomendada para elevar o pH em água a 6,0 (1/2 SMP= 8,7t/ha)

| Tratamento (SMP)           |                 | Triticale <sup>(1)</sup> | Soja <sup>(1)</sup> | Ervilhaca <sup>(1)</sup> | Milho <sup>(1)</sup> |
|----------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|
| Incorporado <sup>(2)</sup> | Superfície      | .....kg/ha.....          |                     |                          |                      |
| 1/2                        | 0-0-0-0         | 1.993 b                  | 2.251 <sup>ns</sup> | 2.668 <sup>ns</sup>      | 7.429 b              |
| 1/2                        | 1/2-0-0-0       | 2.281 ab                 | 2.273               | 3.392                    | 8.002 ab             |
| 1/2                        | 1/4-0-1/4-0     | 2.225 ab                 | 2.358               | 3.160                    | 8.192 a              |
| 1/2                        | 1/4-0-0-1/4     | 2.483 a                  | 2.257               | 3.157                    | 8.217 a              |
| 1/2                        | 1/8-0-0-0       | 2.257 ab                 | 2.270               | 3.255                    | 8.309 a              |
| 1/2                        | 1/8-1/8-1/8-1/8 | 2.478 a                  | 2.305               | 3.354                    | 8.198 a              |
| CV (%)                     |                 | 15,7                     | 10,9                | 27,4                     | 6,6                  |

<sup>(1)</sup> Média de 4 anos (triticale e soja cultivados no 1º, 3º, 5º e 7º anos; ervilhaca e milho cultivados no 2º, 4º, 6º e 8º anos).

<sup>(2)</sup> Incorporação da dose correspondente a ½ SMP 50 dias antes da aplicação superficial das doses e parcelamentos do calcário.

Nota: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, p < 0,05).

<sup>ns</sup> = não significativo.

Na Figura 9 (experimento 3) são mostrados os rendimentos relativos de grãos de milho produzidos no 1º, 3º, 5º e 7º anos após a aplicação superficial de doses de calcário, onde são observados efeitos significativos dos tratamentos sobre o rendimento nas duas últimas safras. Com a aplicação de ¼ da dose de calcário na superfície foram obtidos, respectivamente, 86% e 89% de rendimento relativo de grãos de milho, percentual semelhante ao obtido para a cultura da soja cultivada em rotação com aquela cultura. O rendimento médio de grãos, considerando os quatro cultivos de milho, foi de 6.630kg/ha. Tisse et al. (2004), estudando os efeitos da calagem em Latossolo Vermelho Escuro em SPD, verificaram que não houve aumento no rendimento de milho, mas houve na absorção de P, Ca, Mg e S pelas plantas aos 22 meses após a aplicação de calcário. Moreira et al. (2001) também não verificaram influência da calagem sobre a produção de milho e soja em nenhum dos tempos de cultivo em SPD.

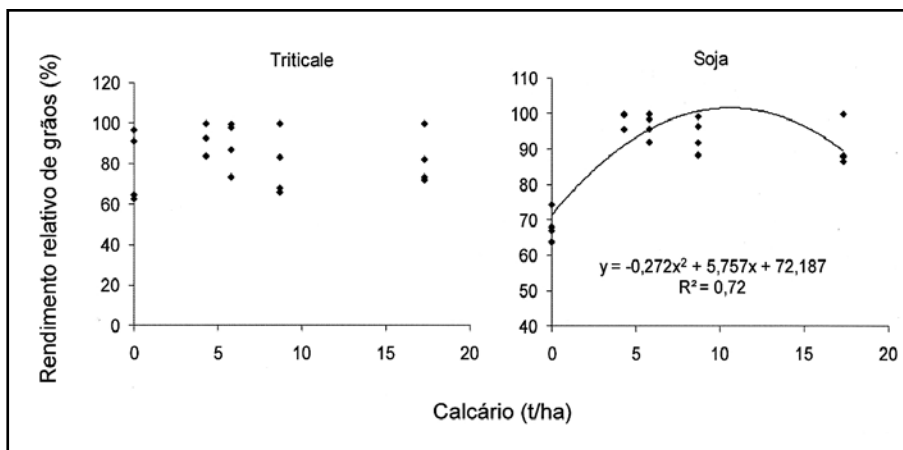


Figura 8. Rendimento relativo de grãos de triticale e de soja após aplicação única de doses de calcário na superfície do solo antes do 1º cultivo. Média de três repetições e quatro cultivos, realizados no 2º, 4º, 6º e 8º anos do experimento.  $R^2$  significativo ( $p < 0,01$ ) (Pandolfo & Veiga, 2011)

Tomando como base o sistema com rotação de culturas, verifica-se que o comportamento da soja e do milho à aplicação de calcário é semelhante e sugere uma resposta à aplicação superficial de calcário, porém em doses menores do que a recomendada pelo método SMP (Sociedade..., 2004). Isso pode ser atribuído à melhoria do ambiente para o crescimento de raízes, com a redução do Al trocável e aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis em qualquer dose aplicada (Figuras 5 e 6).

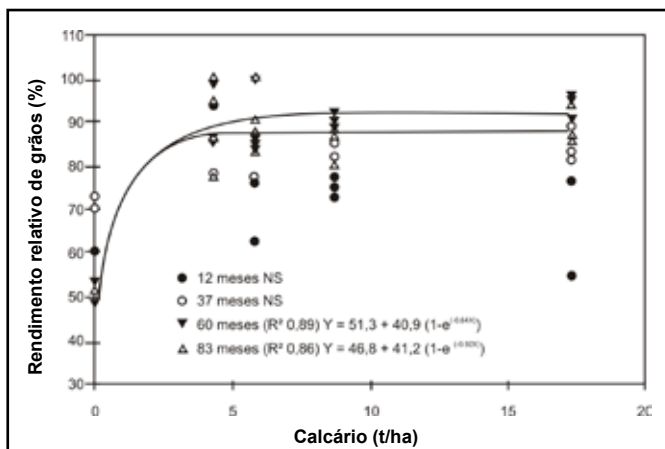


Figura 9. Rendimento relativo de grãos de milho após aplicação única de doses de calcário na superfície do solo antes do 1º cultivo. Média de três repetições e quatro cultivos, realizados no 1º, 3º, 5º e 7º anos do experimento.  $R^2$  significativo ( $p < 0,01$ ) (Pandolfo & Veiga, 2011)

### 2.2.2 Latossolo Vermelho Distroférico (Chapecó, SC)

Na Tabela 10 são apresentados os rendimentos médios de sete safras de triticale e três safras de milho do experimento 4, conduzido em Latossolo Vermelho Distroférico com maior necessidade de calcário (8t/ha), pois não houve diferença de resposta das culturas aos tratamentos nos diversos anos. Observa-se que tanto o triticale como o milho responderam positivamente à calagem. No caso do triticale não se verificou diferença entre os tratamentos com calcário; somente entre estes e a testemunha, com exceção dos tratamentos de ¼ da dose aplicada anualmente e ¼ da dose aplicada no início do experimento. Também não houve diferença entre os tratamentos com parcelamento da dose e destes com a dose integral, incorporada ou aplicada na superfície. No milho, os maiores rendimentos foram obtidos com aplicação de 100% da dose no primeiro ano, tanto superficial como incorporada, os quais não diferiram do tratamento com aplicação parcelada da mesma quantidade de calcário (½ a cada 3 anos). Resultados diferentes foram obtidos por Miranda et al. (2005) em um Latossolo Vermelho, onde constataram que a produtividade de milho no SPD foi inferior nos tratamentos sem incorporação do calcário quando comparados aos tratamentos com incorporação.

Tabela 10. Rendimento de grãos de triticale e de milho com a aplicação superficial da dose integral e de diferentes parcelamentos da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 8t/ha), além da incorporação da dose aplicada em parcela única no primeiro ano

| Tratamento                             | Cultura                  |                      |
|----------------------------------------|--------------------------|----------------------|
|                                        | Triticale <sup>(1)</sup> | Milho <sup>(2)</sup> |
|                                        | .....kg/ha.....          |                      |
| Sem calcário (S)                       | 1.856 bc                 | 6.058 d              |
| 1 SMP (¼ da dose anualmente – S)       | 1.992 ab                 | 7.172 bc             |
| 1 SMP (¼ da dose a cada dois anos – S) | 2.035 ab                 | 6.873 c              |
| 1 SMP (½ dose a cada três anos – S)    | 2.096 a                  | 7.244 abc            |
| 1 SMP (todo no 1º ano – S)             | 2.094 a                  | 7.959 a              |
| 1 SMP (todo no 1º ano – I)             | 2.214 a                  | 7.716 ab             |
| Sem calcário (I)                       | 1.744 c                  | 5.160 e              |
| <b>CV %</b>                            | <b>12,3</b>              | <b>7,8</b>           |

S = Superficial; I = Incorporado.

<sup>(1)</sup> Média de sete anos (1º, 3º, 5º, 9º, 10º, 11º e 12º).

<sup>(2)</sup> Média de três anos (2º, 4º e 8º).

Letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, p < 0,05).

Na média dos anos foram alcançados incrementos de 1.901 e 2.556kg/ha de grãos de milho com aplicação superficial e incorporada da dose integral de calcário

(8t/ha) no primeiro ano em relação às respectivas testemunhas, sem aplicação de calcário. Isso mostra que o milho é uma cultura responsiva à correção da acidez do solo, tanto no sistema convencional com incorporação do calcário como no SPD sem incorporação desse corretivo. As altas produtividades de milho alcançadas nos tratamentos sem aplicação de calcário (> 5t/ha de grãos) devem ser atribuídas ao SPD com rotação de culturas e manutenção dos resíduos das culturas na superfície do solo. Segundo Franchini et al. (1999), durante a decomposição dos resíduos deixados na superfície do solo ocorre liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que atuam como ligantes orgânicos, favorecendo o aumento de Ca e Mg e a diminuição do Al tóxico em profundidade.

A cultura da soja, ao contrário das demais, apresentou resposta diferenciada à calagem nos diversos anos de cultivo. Os rendimentos médios de grãos de cada ano são apresentados na Tabela 11. Em todos os anos, com exceção do terceiro, verificou-se resposta positiva da soja à calagem. Na maioria dos anos não se observou diferença entre doses e formas de aplicação do calcário, demonstrando que a aplicação em dose única ou parcelada da dose integral de calcário apresenta os mesmos resultados. Porém, em valores absolutos, a dose integral de calcário incorporada ao solo no primeiro ano apresentou a melhor produtividade média (2.023kg/ha/ano). Isso concorda com os resultados obtidos por Miranda et al. (2005), que estudaram o efeito da incorporação do calcário em um Latossolo Vermelho no início do SPD sobre a cultura do milho. Nos anos com cultivo de soja (Tabela 11), quando houve diferenças significativas entre os tratamentos, observou-se que, de modo geral, os melhores rendimentos foram apresentados pelos tratamentos com aplicação da dose integral incorporada no 1º ano, dose integral aplicada na superfície no 1º ano e de ¼ da dose a cada 2 anos, com rendimentos médios nos anos avaliados de, respectivamente, 2.023, 1.941 e 1.943kg/ha. Nolla & Anghinoni (2006) também não constataram influência sobre o rendimento de grãos de soja da incorporação ou não da dose integral de calcário (SMP para pH 6,0) aplicado 8 anos antes em um Latossolo Vermelho.

No mesmo solo, porém com menor necessidade de calcário (experimento 5), a calagem não influenciou significativamente o rendimento de tritcale e de soja em nenhum dos anos (Tabela 12). As produtividades médias, tanto de soja como de tritcale, ficaram acima de 2.000kg/ha, superiores aos rendimentos médios estaduais daqueles anos. As altas produtividades alcançadas e a ausência de respostas das culturas à aplicação de calcário devem estar relacionadas à baixa acidez verificada no início do experimento (pH 5,7 e nenhum Al na forma trocável). Essa condição se manteve praticamente inalterada ao longo dos 4 anos, período em que o pH do solo na camada de até 20cm passou para 5,6 e o Al trocável para 0,1cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (Tabela 6). Possivelmente, o sistema de cultivo sob SPD, com manutenção da palha na superfície do solo, deve ter contribuído para manter a acidez do solo em equilíbrio e minimizar os efeitos nocivos de algumas características do solo sobre as plantas (Franchini et al., 1999). Nessa condição de acidez do solo, o milho apresentou resposta positiva à aplicação de calcário, mas não de forma muito consistente e clara no que se refere

ao parcelamento ou não da dose e à forma de aplicação do corretivo (Tabela 13). Na média dos anos, a calagem influenciou em menor magnitude a produção de milho do que no solo com maior necessidade de calcário.

Tabela 11. Rendimento de grãos de soja com a aplicação superficial da dose integral e de diferentes parcelamentos da dose de calcário necessária para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 8t/ha), além da incorporação da dose aplicada em parcela única no primeiro ano

| Trat. <sup>(1)</sup> | Ano de avaliação  |                     |         |                   |          |        |        |         | Média   |      |
|----------------------|-------------------|---------------------|---------|-------------------|----------|--------|--------|---------|---------|------|
|                      | 1º                | 3º                  | 5º      | 7º <sup>(2)</sup> | 9º       | 10º    | 11º    | 12º     |         | 13º  |
|                      | ..... kg/ha ..... |                     |         |                   |          |        |        |         |         |      |
| 1                    | 1.789b            | 2.094 <sup>ns</sup> | 1.713b  | 1.175b            | 1.474c   | 1.859b | 2.056b | 812ab   | 1.346b  | 1591 |
| 2                    | 1.766b            | 2.527               | 1.971a  | 1.363ab           | 1.641abc | 2.084a | 2.552a | 748b    | 1.937ab | 1843 |
| 3                    | 2.010ab           | 2.260               | 1.989a  | 1.374ab           | 1.679a   | 2.270a | 2.543a | 1.022a  | 2.336a  | 1943 |
| 4                    | 1.931ab           | 2.192               | 1.927ab | 1.251b            | 1.662ab  | 2.099a | 2.737a | 912 b   | 2.204a  | 1879 |
| 5                    | 1.964ab           | 2.498               | 1.987a  | 1.327b            | 1.648ab  | 2.092a | 2.645a | 1.000ab | 2.306a  | 1941 |
| 6                    | 1.739b            | 1.868               | 1.708b  | 1.220b            | 1.503bc  | 1.780b | 2.551b | 807ab   | 1.315b  | 1555 |
| 7                    | 2.206a            | 2.345               | 2.166a  | 1.612a            | 1.712a   | 2.227a | 2.747a | 968ab   | 2.221a  | 2023 |
| CV %                 | 6,1               | 11,3                | 4,7     | 6,8               | 3,7      | 3,4    | 5,3    | 10,7    | 11,3    | 8,6  |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey,  $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> = não significativo.

<sup>(1)</sup> 1 = Sem calcário (superfície); 2 = ¼ da dose anualmente, até atingir 1 SMP (superfície); 3 = ¼ da dose a cada 2 anos até atingir 1 SMP (superfície); 4 = ½ da dose a cada 3 anos até atingir 1 SMP (Superfície); 5 = dose integral no primeiro ano (superfície); 6 = Sem calcário (c/ as operações de incorporação); 7 = dose integral no 1º ano (incorporado).

<sup>(2)</sup> Aplicação dos tratamentos até o 7º ano no tratamento ¼ SMP a cada 2 anos.

Os resultados obtidos no conjunto dos experimentos avaliados sugerem que a cultura da soja é mais tolerante às condições de acidez do que a cultura do milho. Scherer (1995), ao utilizar calcário incorporado em dois solos ácidos (Chapecó e Campos Novos), em doses parceladas ou não, constatou que houve pequena diferença no rendimento de grãos de soja ao aplicar a dose de calcário recomendada, em dose única ou parcelada.

Tabela 12. Rendimento de grãos de triticale e de soja com a aplicação superficial da dose integral ou de diferentes parcelamentos da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 5,1t/ha), além da incorporação da dose aplicada em parcela única no primeiro ano

| Tratamento                          | Triticale <sup>(1)</sup> | Soja <sup>(2)</sup> |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------|
|                                     | ..... kg/ha .....        |                     |
| Sem calcário (S)                    | 2.696 <sup>ns</sup>      | 2.037 <sup>ns</sup> |
| 1 SMP (¼ da dose anualmente – S)    | 2.779                    | 2.252               |
| 1 SMP (½ dose a cada dois anos – S) | 2.880                    | 2.191               |
| 1 SMP (½ dose a cada três anos – S) | 2.792                    | 2.303               |
| 1 SMP (todo no 1º ano – S)          | 2.804                    | 2.297               |
| 1 SMP (todo no 1º ano – I)          | 2.850                    | 2.267               |
| Sem calcário (I)                    | 2.531                    | 2.124               |
| <b>CV %</b>                         | <b>12,4</b>              | <b>14,2</b>         |

S = aplicação superficial de calcário; I=revolvimento do solo e incorporação do calcário no 1º ano

<sup>(1)</sup> Média de três anos (1º, 3º e 5º anos).

<sup>(2)</sup> Média de dois anos (1º e 3º anos).

<sup>ns</sup> Não significativo (p > 0,05).

Tabela 13. Rendimento de grãos de milho com a aplicação superficial de dose integral ou de diferentes parcelamentos da dose de calcário para elevar o pH em água a 6,0 na camada de até 20cm (1 SMP = 5,1t/ha), além da incorporação da dose aplicada em parcela única no primeiro ano

| Tratamento                          | Ano               |            | Média      |
|-------------------------------------|-------------------|------------|------------|
|                                     | 2º                | 4º         |            |
|                                     | ..... kg/ha ..... |            |            |
| Sem calcário (S)                    | 6.467 abc         | 8.898 b    | 7.509      |
| 1 SMP (¼ da dose anualmente – S)    | 7.307 a           | 10.321 a   | 8.560      |
| 1 SMP (½ dose a cada dois anos – S) | 7.013 ab          | 9.520 ab   | 8.088      |
| 1 SMP (½ dose a cada três anos – S) | 6.850 ab          | 10.133 a   | 8.257      |
| 1 SMP (todo no 1º ano – S)          | 7.040 ab          | 10.450 a   | 8.502      |
| 1 SMP (todo no 1º ano – I)          | 5.981 bc          | 10.148 a   | 8.065      |
| Sem calcário (I)                    | 5.312 c           | 8.820 b    | 7.066      |
| <b>CV %</b>                         | <b>8,1</b>        | <b>5,0</b> | <b>6,6</b> |

S = Aplicação superficial de calcário; I = Revolvimento do solo e incorporação do calcário no 1º ano.

Nota: Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si (Tukey, p < 0,05).

### 3 Conclusões

A aplicação de calcário na superfície altera os atributos químicos dos solos argilosos em profundidade, aumentando o pH em água, o Ca e o Mg trocáveis e a saturação por bases e diminuindo os teores de Al trocável e a saturação do complexo de troca por esse elemento. Os efeitos desse aumento ocorrem de forma mais expressiva até 10cm de profundidade, pela formação de uma frente de correção da acidez e migração de bases em profundidade, a qual é mais pronunciada nas maiores doses e com maior tempo após a aplicação de uma dose única de calcário.

A aplicação da dose de calcário recomendada para elevar o pH do solo a 6,0 na camada até 20cm, tanto em dose única no primeiro ano quanto de forma parcelada num período de 4 anos, apresenta efeitos semelhantes sobre as características do solo e a produtividade das culturas.

O efeito residual do calcário no SPD é maior do que aquele preconizado para o sistema de cultivo convencional, mantendo-se por período superior a 8 anos, independentemente do parcelamento.

Para ambos os solos estudados, quanto menor a necessidade de calcário, menor a resposta das culturas à aplicação do corretivo, em doses parceladas ou não. A soja e o triticale são mais tolerantes à acidez do solo e apresentam menor resposta à calagem do que a cultura do milho, pois com alguma melhoria nos atributos de acidez do solo e aumento da saturação por bases, já houve bom desempenho em termos de rendimento de grãos.

Em Latossolo argiloso pouco ácido (pH acima de 5,5 e sem alumínio trocável) e em SPD, a soja e o triticale não respondem à aplicação de calcário, independentemente da incorporação do corretivo ao solo, enquanto o milho apresenta resposta inconsistente, variável entre os anos.

Em Nitossolo Vermelho ácido, a aplicação de ¼ de SMP de calcário na superfície proporciona melhoria nos atributos químicos do solo, o que possibilita atingir aproximadamente 90% de rendimento máximo de grãos de soja e de milho.

### Literatura citada

1. AMARAL, A.S. *Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície*. 2002. 107f. Tese (Doutorado em ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
2. AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I.; HINRICHS, R. 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, 2004.

3. BARBER, S.A. *Soil Nutrient Bioavailability – A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons: Nova York, 1984. 398p.
4. CAMARGO, O.A.; CASTRO, O.M.; QUAGGIO, J.A. Alteração de atributos químicos do horizonte superficial de um Latossolo e um Podzólico com a calagem. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.54, n.1-2, p.1-8, 1997.
5. CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema plantio direto em função da calagem na superfície. *Bragantia*, v.59, n.2, p.213-220, 2000.
6. CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.24 n.1, p.161-169, 2000.
7. CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. et al. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.4, p.1011-1022, 2002.
8. CAIRES, E.F.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. et al. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.65, n.5, p.532-540, 2008.
9. CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. et al. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em Plantio Direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.2, p.317-326, 2004.
10. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO/CFS - RS/SC. *Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 3.ed. Passo Fundo/RS: SBRS/Núcleo Regional Sul; Embrapa/CNPT, 1995. 224p.
11. CORREA, J.C.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.9, p.1307-1317, 2007.
12. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Solos do Estado de Santa Catarina*. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPq, 2004. 745p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 46. Disponível em: <[http://www.cnpq.embrapa.br/solosbr/pdfs/santa\\_catarina.zip](http://www.cnpq.embrapa.br/solosbr/pdfs/santa_catarina.zip)>. Acesso em: 28 jun. 2010.

13. ERNANI, P.R.; BAYER, C.; MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian oxisol. *Agronomy Journal*, Madison, USA, v.94, p.305-309, 2002.
14. ERNANI, P.R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Alterações na composição química do solo e no desenvolvimento inicial de plântulas de milho ocasionadas pela aplicação superficial de calcário e fertilizantes fosfatados. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.2, p.131-139, 2006.
15. FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.533-542, 1999.
16. KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C. 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*, Viçosa, v.29, n.4, p.573-580, 2005.
17. MIRANDA, L.N.; MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A. et al. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, n.6, p.563-572, 2005.
18. MOREIRA, S.G.; KIEHL, J.C.; PROCHNOW, L.I. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.1, p.71-81, 2001.
19. NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Critérios de calagem para a soja no sistema plantio direto consolidado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.475-483, 2006.
20. OHLAND, R.A.A.; SOUZA, L.C.F.; HERNANI, L.C. et al. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.3, p.538-544, 2005.
21. OLIVEIRA, H.J.; ERNANI, P.R.; AMARANTE, C.V.T. Alteração na composição química das fases sólida e líquida de um solo ácido pela aplicação de calcário e gesso agrícola. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.1, n.2, p.93-101, 2002.
22. PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P. et al. *Atlas climático digital do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Epagri, 2002. CD ROM 1.
23. PANDOLFO, C.M.; VEIGA, M. Alterações em atributos químicos no perfil do solo após 93 meses da aplicação superficial de calcário, em sistema plantio direto. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.20, n.3, p.72-75, 2007.

24. PANDOLFO, C.M.; VEIGA, M. Atributos químicos de um Nitossolo Vermelho e rendimento de culturas após uma única aplicação de doses de calcário na superfície. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.10, p.62-74, 2011.
25. PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society American Journal*, Madison, v.48, p.33-38, 1984.
26. PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.885-895, 2001.
27. RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. *Ciência Rural*, v.30, n.2, p.263-268, 2000.
28. SCHERER, E.E. Calagem na cultura da soja: parcelar ou não? *Agropecuária Catarinense*, v.8, n.1, p.16-20, 1995.
29. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10.ed. Porto Alegre/RS: SBRS/NRS/CQFS - RS/SC, 2004. 394p.
30. SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.675-688, 2008.
31. SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, N.M.; OLIVEIRA, S. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N.F. et al. (Eds.). *Fertilidade do Solo*. SBRS: Viçosa, 2007. p.205-274.
32. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).
33. TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta do milho. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.3. p.405-413, 2004.
34. VEIGA, M. *Propriedades de um Nitossolo Vermelho após nove anos de uso de sistemas de manejo e efeito sobre culturas*, 1998. 110f. Tese (Doutorado em ciência do Solo), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.