

## MUDANÇA NO CONTEÚDO DE CARBONO E CÁLCIO EM LATOSSOLO MELHORADO POR GESSO E CALCÁRIO NO RIO GRANDE DO SUL

ADEMIR DE OLIVEIRA FERREIRA<sup>1\*</sup>; TELMO JORGE CARNEIRO AMADO<sup>1</sup>; DOUGLAS DALLA NORA<sup>1</sup>; CRISTIANO KELLER<sup>1</sup> & RAFAEL PIVOTTO BORTOLOTTI<sup>1</sup>

Recibido: 16-05-12

Recibido con revisiones: 30-11-12

Aceptado: 03-12-12

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar a mudança da relação do carbono (C) e cálcio (Ca) com a aplicação de doses de gesso e calcário na forma isolada ou combinada em plantio direto no Rio Grande do Sul (RS) e a relação dos tratamentos com a produtividade do milho. Dois experimentos foram realizados na principal região produtora de grãos do RS em Latossolo. O delineamento experimental em ambas as áreas foi de blocos ao acaso, com três repetições. No primeiro experimento avaliou-se combinações de gesso + calcário nas doses de 0,0 + 0,0; 2,6 + 2,0 e 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. O segundo constituiu-se de sete doses de gesso variando de 0 a 6,5 Mg ha<sup>-1</sup>. As fontes de Ca foram gesso e calcário que continham 205 g kg<sup>-1</sup> e 300 g kg<sup>-1</sup> de Ca, respectivamente. Em ambas as áreas o C foi investigado nas profundidades: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,25; 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m transcorridos 6 meses após a aplicação superficial dos insumos. Os resultados foram submetidos à análise de variância (Anova), utilizando o software Sisvar 5.0 e as médias comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05). A análise de regressão foi realizada utilizando JMP IN versão 7.0.1. A aplicação superficial de gesso e calcário incrementou o teor de Ca<sup>2+</sup> no solo. O teor de Ca<sup>2+</sup> foi relacionado com o C do solo para o gesso + calcário (p < 0,0001) e gesso (p < 0,0001). A porcentagem de Ca na CTC<sub>pH 7,0</sub> também foi relacionado com o C para o gesso + calcário (p < 0,0001) e gesso (p < 0,0001). No tratamento 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + calcário verificou-se aumento de C até a profundidade de 0-0,40 m em relação a testemunha. O maior incremento de C do solo foi observado, quando a saturação por Ca na CTC<sub>pH 7,0</sub> foi de 56,1 e 64,3% para Exp. 1 e 2, respectivamente. No experimento 1, em relação a testemunha, a produtividade da cultura do milho foi 8,6 e 9,9% superior nos tratamentos 2,6 + 2,0 e 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + calcário, respectivamente. No experimento 2, em relação a testemunha, a aplicação de 2,0; 3,0 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso alcançaram incrementos de 437; 599 e 670 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho, respectivamente. O incremento de rendimento de grãos de milho foi significativamente relacionado aos atributos químicos do solo (saturação por Ca na CTC<sub>pH 7,0</sub> e saturação por alumínio).

**Palavras-chave.** Milho; matéria orgânica; solos subtropicais.

## CHANGE IN CARBON AND CALCIUM CONTENT IN AN OXISOL AMELIORATED BY LIME AND GYPSUM IN RIO GRANDE DO SUL

### ABSTRACT

The objective of this experiment was to study the effects of different rates of single or combined lime and gypsum soil applications on the changes in soil carbon (C) and calcium (Ca) and on maize yields under no-tillage in Rio Grande do Sul (RS), maize. Two experiments were carried out in the main grain production area of Rio Grande do Sul (RS) under a Typic Hapludox. The experimental design in both areas was a randomized block design with three replications. The first experiment evaluated combinations of lime + gypsum at rates of 0.0 + 0.0; 2.6 + 2.0 and 5.0 + 2.0 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively. The second experiment consisted of seven rates of gypsum ranging from 0 to 6.5 Mg ha<sup>-1</sup>. The gypsum and lime materials had 205 and 300 g kg<sup>-1</sup> of Ca, respectively. The soil C was sampled at depths: 0-0.05; 0.05-0.10; 0.10-0.15; 0.15-0.25; 0.25-0.40 and 0.40-0.60 m 6 months after amendment application. The results were submitted to analysis of variance (ANOVA) using the SISVAR 5.0 software and treatment means were compared by the Tukey test (p < 0.05). The regression analyses were performed using JMP IN version 7.0.1. In most depths, broadcast gypsum and lime under no-till increased soil Ca content. Soil Ca content showed a linear relationship with soil C under gypsum+lime (p < 0.0001) and gypsum applications (p < 0.0001). The Ca saturation in the CEC<sub>pH 7,0</sub> also showed a relationship with soil C under gypsum+lime (p < 0.0001) and gypsum applications (p < 0.0001). The treatment with 5.0 + 2.0 Mg ha<sup>-1</sup> gypsum + lime showed increases in soil C up to the 0.40 m-depth compared to the check plot. The highest increase in soil C was observed when Ca saturation in the CEC<sub>pH 7,0</sub> was 56.1 and 64.3% for Exp 1 and 2, respectively. In experiment 1, the productivity of maize was 8.6 and 9.9% higher in treatments 2.6 + 2.0 and 2.0 + 5.0 Mg ha<sup>-1</sup> gypsum + lime compared to the control, respectively. In experiment 2, the application of 2.0, 3.0 and 5.0 Mg ha<sup>-1</sup> gypsum reached maize yield increments of 437, 599 and 670 kg ha<sup>-1</sup>, respectively, compared to the control. The increase in maize grain yield was significantly related to soil chemical properties (saturation of calcium in CTC<sub>pH 7,0</sub> and aluminum saturation).

**Key words.** Maize; organic matter; subtropical soils

<sup>1</sup> Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Av. Roraima 1000, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

\* Autor de contacto: aoferreira1@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

Na agricultura, o manejo conservacionista direciona o solo a atuar como dreno de carbono (C) e o principal mecanismo está associado à manutenção de agregados (Sá *et al.*, 2008; Bayer *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2012), o qual protege fisicamente o C em seu interior, permitindo um ambiente menos oxidativo, comparado ao sistema de cultivo convencional, dificultando a degradação microbiana (Tisdall, 1991). O estágio mais avançado do manejo conservacionista é o sistema plantio direto (SPD), que consiste no mínimo revolvimento do solo, restringindo-o à linha de semeadura e associado à rotação de culturas e ao aporte contínuo de resíduos vegetais (Sá & Lal 2009; Ferreira *et al.*, 2012).

O C do solo tem papel muito importante na melhoria das condições químicas (Fontana *et al.*, 2006; Sá *et al.*, 2009), físicas (Tisdall & Oades, 1982; Castro Filho *et al.*, 1998; Ferreira *et al.*, 2011) e biológicas do solo (Sparling *et al.*, 1998), assim como desempenha também importante função ambiental. Devido o C do solo ter grande relevância no compartimento global de carbono (Kern *et al.*, 1993; Stevenson, 1994), sua elevação ou o aumento de seu estoque, faz com que o solo se torne um dreno de CO<sub>2</sub>, o que diminui seu impacto negativo na atmosfera.

O cálcio (Ca) é um elemento crucial para a estabilização da matéria orgânica do solo (MOS) e de agregados, através do seu papel na formação de complexos com a argila e a matéria orgânica através de ponte catiônica (Peterson, 1947; Muneer & Oades, 1989a; Six *et al.*, 2004; Bronick & Lal, 2005). Essa ligação é uma forma de estabilizar e aumentar o tempo de permanência do C no solo, devida à proteção física derivada da formação de microagregado (Edwards & Bremner, 1967; Six *et al.*, 2004; Bayer *et al.*, 2011). Segundo Baldock *et al.* (2000), o processo de formação de pontes de Ca, é o fator dominante do efeito positivo de longo prazo da adição de cálcio sobre a estabilidade estrutural do solo.

Em experimento de longa duração, Caires *et al.* (2008) demonstraram que a aplicação superficial de calcário e a sua reaplicação, após nove e dois anos, respectivamente, aumentaram o pH do solo e os teores de Ca<sup>+2</sup> trocável até a profundidade de 0,6 m, porém os incrementos mais expressivos ocorreram na camada de 0-0,05 m nas parcelas que receberam a reaplicação. Concomitantemente a isso, os conteúdos de Al<sup>+3</sup> trocável e a saturação por Al<sup>+3</sup> diminuíram até a profundidade de 0,6 m, de acordo com as doses e a reaplicação do calcário. Os mesmos autores

também reportaram incremento no conteúdo de C acompanhando o aumento de Ca<sup>2+</sup>.

Conforme Muneer & Oades (1989b) e Chan & Heenan (1998, 1999) adições de Ca aos solos, na forma de calcário ou gesso, tem aumentado em 10% o nível de agregação.

O objetivo desse trabalho foi investigar a mudança no conteúdo de C e Ca com a aplicação de doses de gesso e calcário na forma isolada ou combinada em SPD no Rio Grande do Sul (RS), Brasil, e a relação dos tratamentos com a produtividade do milho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Descrição da área de estudo

O experimento foi conduzido no município de Carazinho, RS, Brasil (latitude 28° 17'S e longitude 52° 47'N, altitude 603 metros), em duas propriedades comerciais, uma do Sr. Valdir Ahlert e outra propriedade do Sr. José A. Mattos. Em ambas as áreas estudadas o solo analisado foi Latossolo Vermelho (Typic Hapludox) com textura argilosa (Embrapa, 2006).

O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) (Köppen, 1931), com temperatura média anual é de 16 °C e precipitação média anual de 1650 mm. A Figura 1 apresenta os dados de precipitação pluviométrica durante o experimento.

Ambas as áreas onde foram coletadas as amostras vinham sendo manejadas em SPD por longo prazo (15 anos), sendo comumente cultivadas com a seguinte sequência de cultivos: soja/aveia-preta/milho/trigo. A implantação dos tratamentos foi realizada após a dessecação da cultura da aveia-preta (agosto de 2009), e 20 dias depois foi realizada a semeadura do milho com a seguinte adubação: 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (N) (20 kg ha<sup>-1</sup> de N de base e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N parcelado em duas aplicações de cobertura. A colheita do milho foi realizada em janeiro de 2010. Posteriormente foi implantada a cultura do trigo (julho de 2010), após isso foi realizado o plantio da cultura da soja (novembro de 2010).

Para caracterização química inicial das áreas foram coletadas cinco sub-amostras nas seguintes profundidades: 0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m. A Tabela 1 apresenta os atributos químicos (Tedesco *et al.*, 1995) e granulométricas (Embrapa, 1997) analisados no perfil do solo antes do início do experimento.

A determinação das doses de gesso no presente trabalho foram determinadas de acordo com a proposta de Quaggio e Rajj (1996).

Tabela 1. Atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos.

Table 1. Soil chemical properties before conducting the experiments.

Prof. (m)	pH	SMP <sup>(1)</sup>	MOS	V %	Ca	Mg	H+Al <sup>(2)</sup> Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC <sup>(3)</sup>	Al	K	P mg dm <sup>-3</sup>	Argila g kg <sup>-1</sup>
Experimento 1												
0-0,10	5,9	6,2	2,7	71	5,2	2,8	3,5	11,8	0,0	0,36	8	540
0,10-0,20	5,3	5,8	2,2	50	3,3	1,9	5,5	11,1	0,5	0,38	6	630
0,20-0,40	5,1	5,6	1,3	37	2,4	1,6	6,9	11,0	1,2	0,08	7	680
0,40-0,60	4,4	5,0	1,7	15	2,1	1,42	13,0	7,6	3,9	0,03	3,4	630
Experimento 2												
0-0,10	5,8	6,1	3,5	71	6,6	2,2	3,9	13,4	0,0	0,48	19	410
0,10-0,20	5,2	5,6	2,2	48	4,3	1,8	6,9	13,2	0,4	0,22	8	500
0,20-0,40	5,0	5,4	1,9	27	2,0	1,1	8,7	11,9	1,0	0,10	67	540
0,40-0,60	4,6	5,2	1,6	30	2,0	1,6	10,6	5,7	1,4	0,03	1,2	590

<sup>(1)</sup> Acidez Potencial do solo determinada pelo pH de equilíbrio entre solo e solução tamponada a pH 7,5; <sup>(2)</sup> Acidez Potencial; <sup>(3)</sup> Capacidade de troca de cátions.

### Caracterização do gesso e calcário

O gesso utilizado na implantação do experimento continha em sua formulação química 21% de Ca, 15,5% de enxofre (S), 0,0024% de flúor (F) e 0,9% de fósforo total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), em suas características físicas apresentava densidade de 1,17 g cm<sup>-3</sup> e 6,5% de umidade relativa (UR). O calcário dolomítico utilizado continha em sua formulação 29,5% de CaO, 19,5% de MgO e PRNT de 75%.

### Delineamento experimental

O delineamento experimental em ambas as áreas foi de blocos ao acaso, com três repetições. No experimento 1, as parcelas consistiram da aplicação da combinação de doses de gesso

+ calcário dolomítico nas seguintes proporções, respectivamente: a) 0 + 0 Mg ha<sup>-1</sup>; b) 2,6 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>; c) 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>. No experimento 2, a aplicação isolada de gesso foi realizada nas seguintes doses: 0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,5 Mg ha<sup>-1</sup>.

### Descrição das coletas

Após 6 meses da implantação do experimento foram coletadas amostras compostas nas seguintes profundidades: de 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,25; 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m através da abertura de trincheiras com dimensões de 0,3 x 0,3 x 0,6 m. No Experimento 1 e 2, foram coletadas amostras estratificadas nessas seis profundidades, para cada profundidade foi coletado três repetições, totalizando 18 amostras por

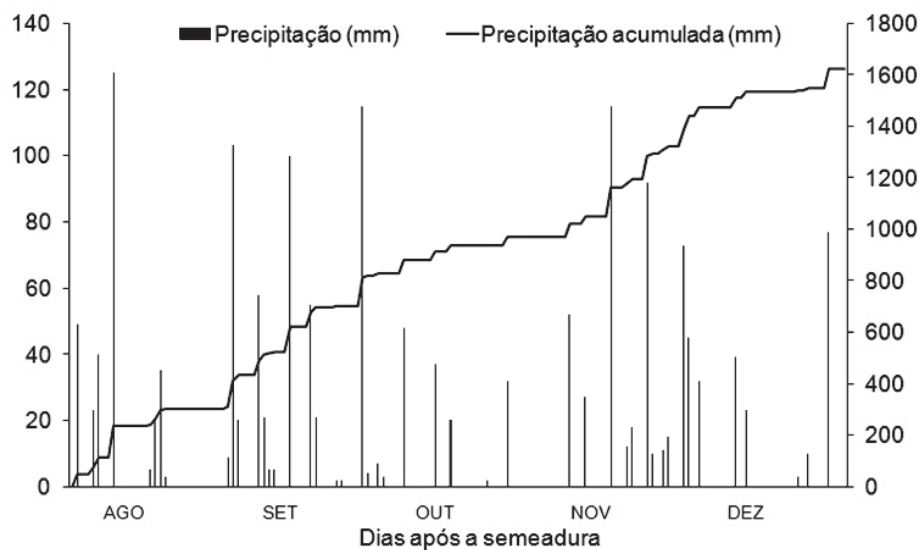


Figura 1. Distribuição diária da precipitação pluviométrica relacionada com a precipitação acumulada registrada durante os experimentos. Carazinho, RS.  
Figure 1. Daily distribution of rainfall related to the cumulative rainfall during the experiments. Carazinho, RS.

tratamento. Como no experimento 1 continha tres tratamentos (0 + 0 Mg ha<sup>-1</sup>; 2,6 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>; 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>), somou-se assim, um total de 54 amostras. No Experimento 2 continha sete tratamentos (0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 e 6,5 Mg ha<sup>-1</sup>), somando um total de 126 amostras. As amostras do solo foram coletadas com uma espátula na parede frontal da trincheira. As amostras foram secas ao ar e manipuladas visando à retirada de raízes e resíduos de plantas.

### Determinações dos atributos químicos do solo e produtividade do milho

Nas amostras de solo foram realizadas as determinações químicas de pH em água determinado por potenciômetro na suspensão solo-água na proporção de 1:1, pH em índice SMP a partir do uso de uma solução tamponada a pH 7,5 proposta por Shoemaker *et al.* (1961), Al obtido na extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e titulado com NaOH 0,0125 mol L<sup>-1</sup>, Ca e Mg obtidos na extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Os valores de CTC<sub>pH7,0</sub> foram determinados pelo método do acetato de sódio (Richards, 1954). A determinação do conteúdo de C foi realizada pelo método Mebius modificado no bloco de digestão (Nelson & Sommers, 1996; Rheinheimer *et al.*, 2008).

Na maturação fisiológica da cultura do milho, em cada ponto onde foi coletado amostras de solo, também foram extraídas manualmente amostras de espigas de milho para cálculo de produtividade. Em cada ponto coletou-se 4 metros lineares de milho (dois metros em cada linha de plantio), após

isso foi determinada a umidade do grão (Brasil, 2009) e calculado a produtividade em Mg ha<sup>-1</sup>.

### Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa computacional SISVAR 5.0 (Ferreira, 2010) e as médias foram comparadas pelo teste Tukey (p<0,05). Os ajustes e análises de regressão foram feitas pelo programa JMP IN versão 7.0.1 (Sall *et al.*, 2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de cálcio e carbono apresentaram interação significativa entre doses de gesso + calcário x profundidade (experimento 1) e entre doses de gesso x profundidade (experimento 2) (Tabela 2).

### Conteúdo de C e Ca afetados pela aplicação de gesso isolado e combinado com calcário

No experimento 1, em todas as profundidades analisadas, exceto a 0,40-0,60 m (Tabela 3), o conteúdo de C foi significativamente superior no tratamento 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário em relação ao tratamento sem calcário (0+0). Aplicação da combinação 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> calcário comparada ao tratamento teste-

Tabela 2. Variância dos teores de cálcio e carbono em função da combinações de gesso + calcário (experimento 1) e das doses de gesso isolado (Experimento 2).

Table 2. Statistical significances and coefficient of variations of the calcium and carbon concentrations as affected by broadcast applications of gypsum + lime (experiment 1) and gypsum alone (Experiment 2).

Causas de variação	G.L	Cálcio Cmol/dm <sup>3</sup>	Carbono g kg <sup>-1</sup>	Cálcio/Carbono
Experimento 1				
DG + Cal	6	n.s	n.s	n.s
C.V. (%)		37,29	25,94	26,06
P	5	**	**	**
DG + Cal x P	30	**	**	**
C.V.(%)		16,34	12,63	18,65
Experimento 2				
DG	2	n.s	n.s	**
C.V. (%)		50,05	25,85	35,36
P	5	**	**	**
DG x P	10	**	**	**
C.V.(%)		22,37	10,03	27,86

<sup>n.s</sup> Não-significativo. \*\* Significativo a 1% de significância. DG + Cal= Doses de gesso + calcário superficial; P= profundidade de amostragem; DG= Doses de gesso isolado; CV= coeficiente de variação.

munha (0 + 0), resultou em aumento no conteúdo de C de 3,76; 3,28; 1,67; 1,17 e 1,79 g kg<sup>-1</sup> nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15, 0,15-0,25 e 0,25-0,40 m, respectivamente. Na camada de 0-0,05 m, o conteúdo de C foi significativamente superior em ambas as combinações de gesso + calcário em relação ao tratamento testemunha (0 + 0).

Santos *et al.* (2011) atribuíram que 27 a 37% da contribuição significativa de entrada de C no solo vem das raízes. Já Briedis *et al.* (2012) observaram que o aumento e o retorno de C ao solo é potencializado pelo uso do calcário em superfície que promove um substancial aumento no desenvolvimento de raízes e biomassa aérea. Segundo os autores se o sistema radicular das culturas tem seu tamanho aumentado, isso favorece o aumento nos produtos orgânicos exudados.

No experimento 2, a aplicação de gesso isolado não afetou significativamente o conteúdo de carbono nas camadas analisadas (Tabela 4).

No experimento 1, o conteúdo de Ca foi significativamente superior no tratamento 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário em relação ao tratamento sem calcário (0 + 0) até a camada de 0,15 m (Tabela 3). Enquanto, que no tratamento 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário, esse aumento foi superior até a camada de 0,25 m em relação a testemunha. Rampim *et al.* (2011) utilizando gesso em superfície seis meses após a calagem verificou aumentos significativos dos teores de Ca até 0,4 m de profundidade com doses de até 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso. No experimento 2, esse valor de Ca foi significativamente superior nos tratamentos com 4,0; 5,0 e 6,5 t ha<sup>-1</sup> de gesso em relação ao tratamento testemunha (0/0) na camada até 0,10 m (Tabela 4). Caires *et al.* (2004), utilizando 6 e 9 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso encontrou aumento de Ca até 0,80 m após 43 meses da aplicação. Porém esse efeito não foi encontrado no presente estudo porque, apesar da utilização de doses menores, houve um curto espaço de tempo após a aplicação (6 meses).

Tabela 3. Conteúdo de C e de cálcio afetados pela combinação de doses de gesso + calcário superficial em Latossolo sob plantio direto. Experimento 1.  
Table 3. Carbon and calcium contents as affected by rates of gypsum + limestone broadcast on an Oxisol under no-tillage. Experiment 1.

Profundidade M	Doses da combinação de gesso + calcário em superfície (t ha <sup>-1</sup> )		
	0 + 0	2,6 + 2,0	5,0 + 2,0
	Conteúdo de C (g kg <sup>-1</sup> )		
0-0,05	20,82 Ab	23,28 Aa	24,58 Aa
0,05-0,10	16,49 Bb	17,44 Bab	19,77 Ba
0,10-0,15	15,50 Bb	15,25 BCb	17,17 BCa
0,15-0,25	14,83 BCb	13,71 CDb	16,00 CDa
0,25-0,40	11,77 Db	11,90 DEb	13,56 DEa
0,40-0,60	12,01 CDa	10,68 Ea	11,35 Ea
	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )		
0-0,05	6,61 Ab	8,84 Aa	9,88 Aa
0,05-0,10	5,21 Bb	7,88 Aa	8,09 Ba
0,10-0,15	3,54 Cb	5,48 Ba	6,46 Ca
0,15-0,25	3,38 Cb	3,68 Cab	4,60 Da
0,25-0,40	2,35 CDa	2,62 CDa	3,20 Ea
0,40-0,60	1,81 Da	2,11 Da	2,26 Ea
	Relação C/Ca		
0-0,05	3,15 Ba	2,63 Ba	2,48 Ba
0,05-0,10	3,16 Ba	2,21 Ba	2,44 Ba
0,10-0,15	4,38 Ba	2,78 Bb	2,66 Bab
0,15-0,25	4,39 Ba	3,72 ABa	3,48 Aba
0,25-0,40	5,01 Aba	4,54 ABa	4,23 Aa
0,40-0,60	6,63 Aa	5,06 Ab	5,02 Aab

\*Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos e maiúsculas nas colunas, comparando profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Portanto, se compararmos as duas formas de aplicação, notamos que a forma de gesso combinada com calcário potencializou a descida do Ca no perfil (Raij, 2010; Briedis *et al.*, 2012). Isso ocorreu porque, o uso do gesso juntamente com o calcário proporcionou melhores condições para que o calcário agisse na solução do solo e aumentasse o pH, posteriormente a ação do gesso foi potencializada no arraste de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  adicionados na calagem pela formação do par iônico com o ion  $\text{SO}_4^{2-}$  (Market *et al.*, 1987).

### Relações entre conteúdo de C e Cálcio

Observou-se uma grande afinidade entre o  $\text{Ca}^{2+}$  e o conteúdo de C do solo (Fig. 2), sendo mais intensa nas doses elevadas de gesso + calcário.

Briedis *et al.* (2012) na região dos Campos Gerais (Paraná, Brasil) em análise de uma secção da fração argila, pelo uso de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com analisador de raios X por dispersão de energia (EDS), revelou que o  $\text{Ca}^{2+}$  correlacionou-se com o carbono em escala micrométrica. Com isso, no presente estudo pode-se afir-

mar que o aumento de C acompanhando do aumento da porcentagem de Ca constitui-se em uma prática que, além de promover a melhoria da fertilidade do solo, ocasiona também positivo impacto ambiental por atuar no dreno de C no solo.

Na combinação de doses de gesso + calcário a saturação de Ca na  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  chegou 56,1% (Fig. 3a) na camada de 0-0,05 m. Já nas doses de gesso isoladas a saturação de Ca chegou a 64,3% (Fig. 3b) nessa mesma camada. Dados estes corroborados por Ferreira (2009), que na região dos Campos Gerais (Paraná, Brasil), constatou em Latossolo de textura média que a porcentagem de Ca na  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  na camada de 0-0,05 m foi de 48% e superou em 2,82 vezes o valor encontrado na camada de 0,05-0,20 m. O mesmo autor em Latossolo de textura argilosa observou que a camada superficial de 0-0,05 m foi 41% e 1,37 vezes superior a porcentagem de Ca na saturação a  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  encontrada na camada de 0,05-0,20 m. Essa estratificação do Ca no perfil do solo também é observada no presente estudo (Tabelas 3 e 4).

Tabela 4. Conteúdo de C afetados pela aplicação de gesso superficial em Latossolo sob plantio direto. Experimento 2.

Table 4. Carbon contents as affected by gypsum broadcast on an Oxisol under no-tillage. Experiment 2.

Prof.	Doses de gesso em superfície (t ha <sup>-1</sup> )						
	M	0/0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
	Conteúdo de C (g kg <sup>-1</sup> )						
0-0,05	21,15 Aa	22,09 Aa	23,79 Aa	24,73 Aa	25,58 Aa	24,79 Aa	22,24 Aa
0,05-0,10	18,15 ABa	18,65 Aba	18,85 Ba	18,05 Ba	19,00 Ba	19,25 Ba	20,25 ABa
0,10-0,15	14,76 BCa	15,91 BCa	15,90 BCa	16,16 Ba	15,71 BCa	16,21 BCa	15,91 BCa
0,15-0,25	13,02 CDa	15,66 BCDa	14,35 BCa	16,51 Ba	16,01 BCa	15,61 BCDa	15,46 Ca
0,25-0,40	11,65 CDb	13,21 CDab	15,95 BCab	15,31 BCab	13,71 CDab	14,66 CDab	15,41 Cab
0,40-0,60	9,21 Da	11,32 Da	13,61 Ca	11,62 Ca	10,82 Da	11,57 Da	12,37 Ca
	Cálcio (g kg <sup>-1</sup> )						
0-0,05	7,13 Ac	7,68 Ac	8,60 Abc	10,06 Aab	10,08 Aab	10,19 Aab	10,32 Aa
0,05-0,10	6,66 Ab	7,64 Aab	7,73 Abab	8,46 Aba	9,14 ABa	9,28 Aa	8,34 Ba
0,10-0,15	6,01 ABb	6,34 Abab	6,97 BCab	7,11 BCab	7,92 Ba	7,18 Bab	7,48 Bab
0,15-0,25	4,83 Ba	5,06 Ba	5,55 CDa	6,08 Ca	5,78 Ca	5,98 BCa	5,77 Ca
0,25-0,40	3,10 Cb	3,13 Cb	4,13 DEab	4,17 Dab	4,27 CDab	5,33 Ca	4,69 CDab
0,40-0,60	2,74 Ca	2,95 Ca	2,98 Ea	2,81 Da	3,40 Da	3,35 Da	3,63 Da
	Relação C/Ca						
0-0,05	2,96 ABa	2,87 CDa	2,76 Ba	2,46 Ca	2,54 ABa	2,43 ABa	2,15 BCa
0,05-0,10	2,73 ABa	2,44 Da	2,44 Ba	2,16 Ca	2,08 Ba	2,10 Ba	2,42 ABCa
0,10-0,15	2,46 Ba	2,52 Da	2,30 Ba	2,31 Ca	2,02 ABa	2,28 Ba	2,13 Ca
0,15-0,25	2,69 ABa	3,13 BCDa	2,74 Ba	2,74 BCa	2,78 ABa	2,62 ABa	2,70 ABCa
0,25-0,40	3,76 Aa	4,16 Aa	3,86 Aab	3,68 Abab	3,21 Aab	2,77 ABb	3,28 ABab
0,40-0,60	3,39 ABb	3,85 Aba	4,61 Aab	4,14 Aab	3,18 Ab	3,49 Aab	3,41 Aab

\*Letras iguais minúsculas nas linhas, comparando tratamentos e maiúsculas nas colunas, comparando profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Houve relação significativa entre % de Ca (e.g. % de Ca na  $CTC_{pH\ 7,0}$ ) e o C do solo (Fig. 3) para os dois experimentos sob SPD. Caires *et al.* (2008) e Briedis *et al.* (2012) em experimento de longa duração na região dos Campos Gerais reportaram incremento no conteúdo de C acompanhando o aumento de  $Ca^{2+}$ .

#### Relações entre saturação de Ca e produtividade de milho

As relações obtidas entre o produtividade de milho ( $kg\ ha^{-1}$ ) e a saturação por Ca na  $CTC_{pH\ 7,0}$  (Fig. 4) mostram o

efeito positivo do incremento da saturação por Ca nas camadas do solo (0-0,05; 0,05-0,10; 10-0,15; 0,15-0,25; 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m), proporcionado pelos tratamentos de gesso combinado com calcário na produtividade de milho. Dados estes corroborados por Caires *et al.* (2004) que encontrou a mesma relação para as camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 m de profundidade. Nos tratamentos com gesso isolado houve relação significativa da saturação de Ca com produtividade de milho nas camadas de 0,15-0,25 e 0,25-0,40 m de profundidade (Tabela 5). Isso mostra que mesmo não sendo significati-

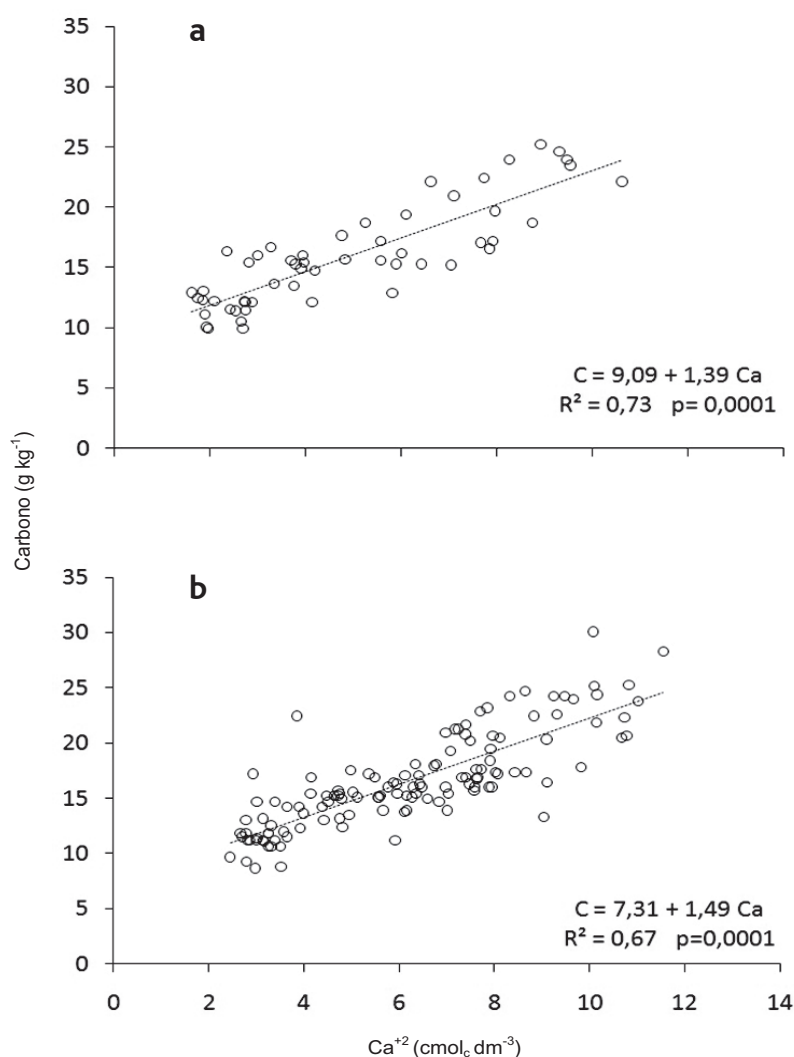


Figura 2. Regressão entre o  $Ca^{2+}$  e o conteúdo de C do solo em sistema plantio direto. Média geral. (a) combinação de doses de gesso + calcário (Experimento 1); (b) gesso superficial (Experimento 2).

Figura 2. Regression between soil  $Ca^{2+}$  and C average contents under no-tillage. (a) combination of gypsum + limestone (Experiment 1), (b) broadcast gypsum (Experiment 2).

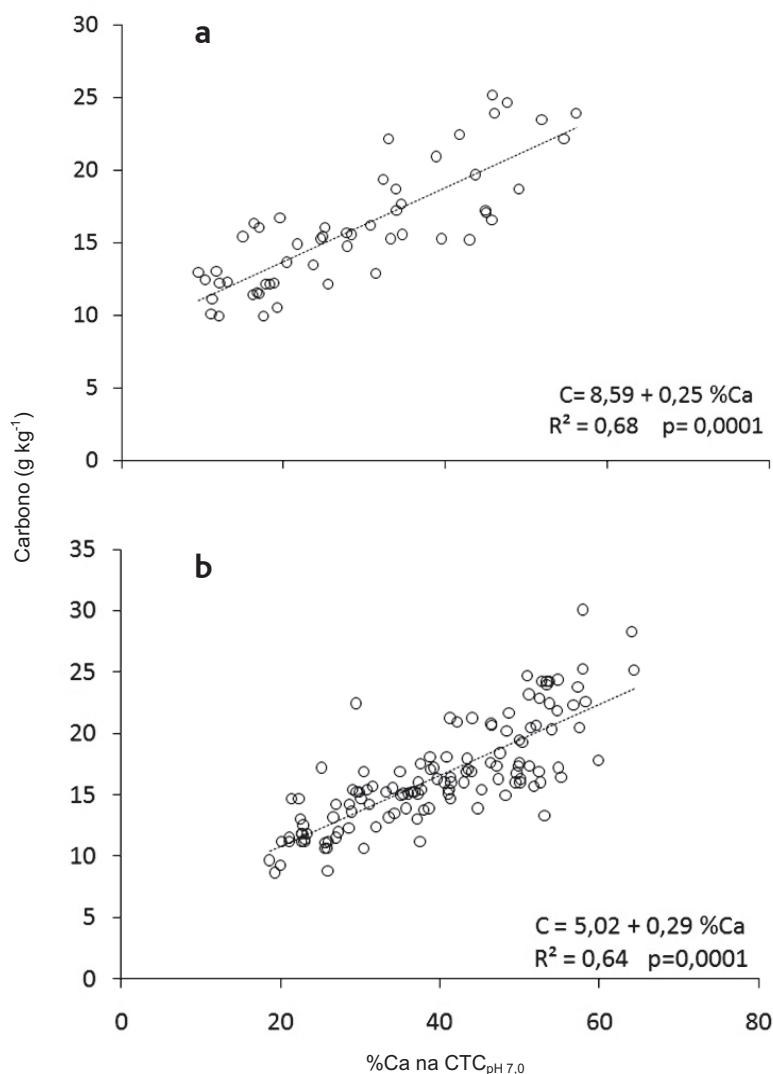


Figura 3. Regressão entre a saturação de Ca na  $CTC_{pH\ 7,0}$  e o conteúdo de C do solo na camada 0-0,05 m de um Latossolo Vermelho sob plantio direto de longa duração. (a) combinação de doses de gesso + calcário (Experimento 1); (b) gesso superficial (Experimento 2).

Figure 3. Regression between the saturation of Ca in the  $CEC_{pH\ 7,0}$  complex and C content in the 0-0.05 m soil layer of an Oxisol under a long-term no-tillage system for (a) the combination of gypsum + limestone (Experiment 1) and (b) broadcast gypsum (Experiment 2).

vo o aumento de Ca em função das doses de gesso (Tabela 4) os teores de Ca foram acrescidos em relação aos teores da implantação do experimento (Tabela 1).

A maior produção de grãos foi observada, quando a saturação por Ca na  $CTC_{pH\ 7,0}$  na camada de 0-0,05 m foi de 65 e 58% para Exp. 1 e 2, respectivamente. Caires *et al.* (2004) encontrou o valor de 56% para a mesma camada.

No experimento 1, em relação a testemunha o produtividade da cultura do milho foi 8,6 e 9,9% superior nos tratamentos 2,6 + 2,0 e 5,0 + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso +

calcário, respectivamente (Fig. 5a). Já no experimento 2, em relação a testemunha, a aplicação de 2,0; 3,0 e 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso alcançaram incremento de 437; 599 e 670 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho, respectivamente (Fig. 5b).

#### Relações entre saturação de Al e produtividade de milho

Após 6 meses da aplicação de doses de gesso + calcário (Experimento 1) e gesso superficial (Experimento 2), foi verificado decréscimo dos teores de Al para o Exp 1 (Fig.



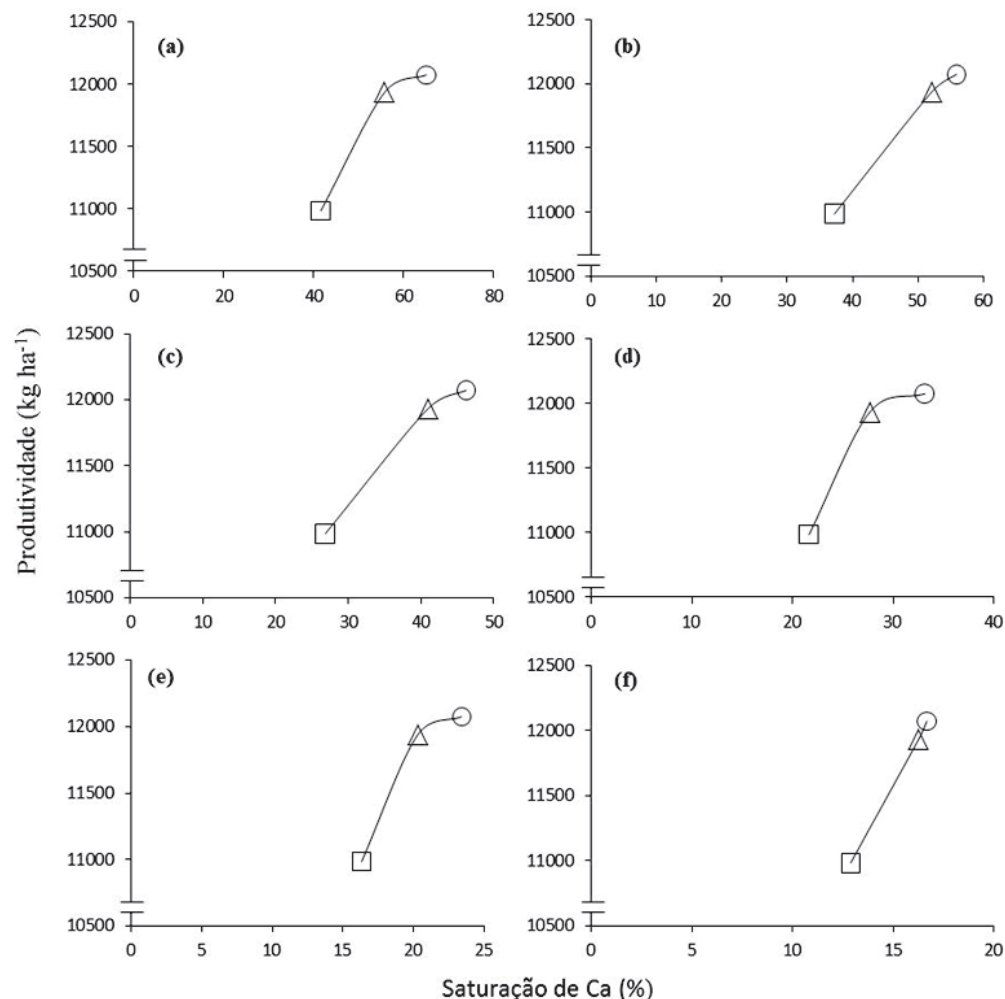


Figura 4. Relação entre a saturação de Ca (SCa) na CTC<sub>pH 7,0</sub> e a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) da cultura do milho sob influência da aplicação doses de gesso + calcário em plantio direto (Experimento 1). a) 0-0,05 m; b) 0,05-0,10 m; c) 0,10-0,15 m; d) 0,15-0,25 m; e) 0,25-0,40 m; f) 0,40-0,60 m. □ 0 Mg ha<sup>-1</sup> (Testemunha); △ 2,6 Mg ha<sup>-1</sup> de Gesso + 2,0 Calcário; ○ 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de Gesso + 2,0 Calcário.

Figure 4. Relationship between Ca saturation in the CEC<sub>pH 7,0</sub> complex and maize yield (kg ha<sup>-1</sup>) under the effects broadcast gypsum + limestone under no-tillage (Experiment 1). a) 0-0.05 m; b) 0.05-0.10 m; c) 0.10-0.15 m; d) 0.15-0.25 m; e) 0.25-0.40 m; f) 0.40-0.60 m. □ 0 Mg ha<sup>-1</sup> (control); △ 2.6 Mg ha<sup>-1</sup> gypsum + 2.0 lime; ○ 5.0 Mg ha<sup>-1</sup> of gypsum + 2.0 lime.

6) e Exp 2 (Tabela 6). Resultados semelhantes apontando decréscimo dos teores de Al em Latossolos no sul do Brasil foram constatados em estudos realizados por Zambrosi *et al.* (2007) e Rampim *et al.* (2011).

No experimento 1, a dose que apresentou o maior decréscimo da saturação de alumínio tóxico foi a de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso + 2,0 Mg ha<sup>-1</sup>, representando uma redução em relação a testemunha de 39, 69 e 79% para as camadas 0,15-0,25; 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Essa redução do Al tóxico em profundidade refletiu em incremento da produtividade de milho (Fig. 6). No expe-

rimento 2, a dose que apresentou o maior decréscimo da saturação de alumínio tóxico foi a de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de gesso, representando uma redução em relação a testemunha de 33 e 40% para as camadas 0,25-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Essa redução do Al tóxico em profundidade (0,25-0,40 m) teve relação direta com o incremento da produtividade de milho (Tabela 6).

Esse decréscimo está ligado às trocas iônicas existentes entre o cálcio advindo das doses de gesso e o alumínio, deslocando este último para a solução do solo, onde posteriormente foi imobilizado pelo SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (Pavan *et al.*, 1984;

Tabela 5. Equações de regressão entre a saturação de Ca (SCa) na CTC<sub>pH 7,0</sub> e a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) da cultura do milho sob influência da aplicação de gesso isolado em plantio direto (Experimento 2).

Table 5. Regression equations between the saturation of Ca in the CEC<sub>pH 7,0</sub> and maize yield (kg ha<sup>-1</sup>) obtained with different broadcast gypsum rates under no-tillage (Experiment 2).

Prof. (m)	Equação	R <sup>2</sup>	Nível de significância (P)
0,0-0,05	Prod = 1395,7 – 9,7 SCa – 0,079 SCa <sup>2</sup>	0,22	0,60
0,05-0,10	Prod = -4259,3 + 154 SCa – 1,10 SCa <sup>2</sup>	0,70	0,08
0,10-0,15	Prod = -11787 + 394,8 SCa – 3,01 SCa <sup>2</sup>	0,66	0,11
0,15-0,25	Prod = -6290,2 + 244,7 SCa – 2,02 SCa <sup>2</sup>	0,77	0,04
0,25-0,40	Prod = - 1227,8 + 88,1 SCa – 0,82 SCa <sup>2</sup>	0,75	0,05
0,40-0,60	Prod = 3215,6 -101,2 SCa + 1,20 SCa <sup>2</sup>	0,50	0,24

§ Produtividade (kg ha<sup>-1</sup>); §§ % Ca na CTC<sub>pH7,0</sub>

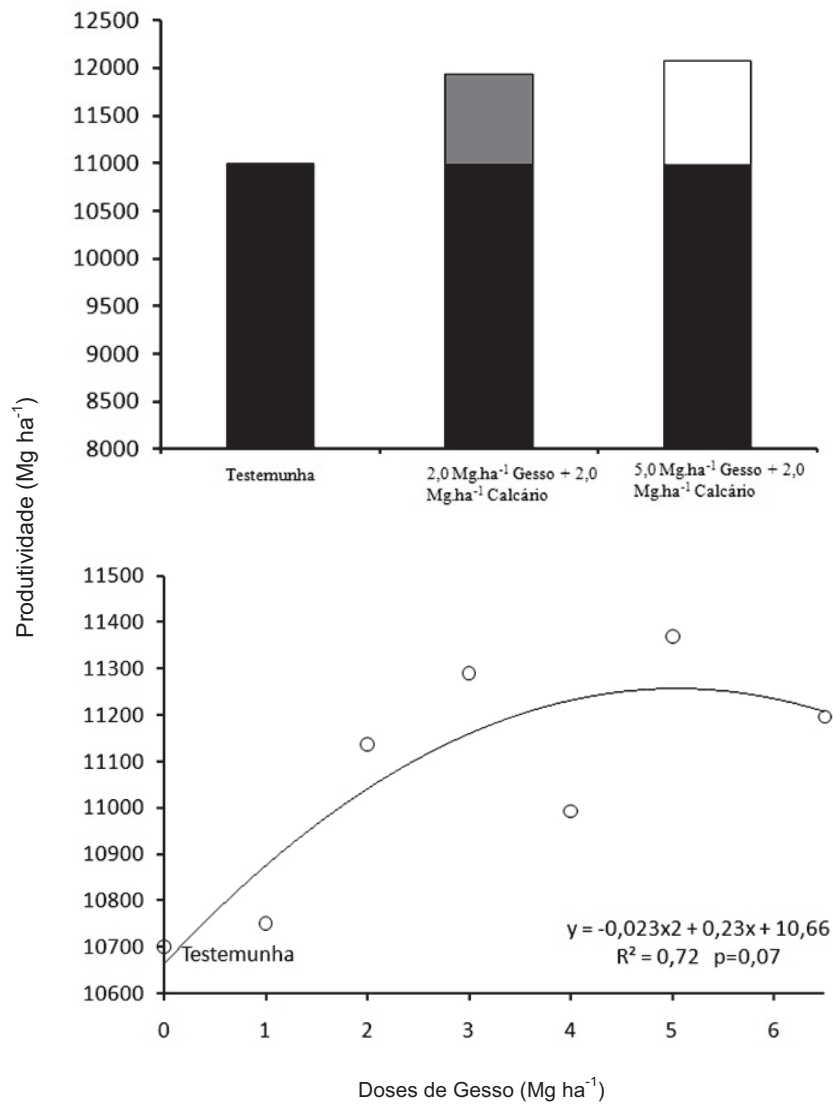


Figura 5. Produtividade de milho: (a) combinação de doses de gesso + calcário (Experimento 1); (b) gesso superficial (Experimento 2).

Figure 5. Maize yield: (a) combination of gypsum + limestone (Experiment 1) and ( b) broadcast gypsum (Experiment 2).

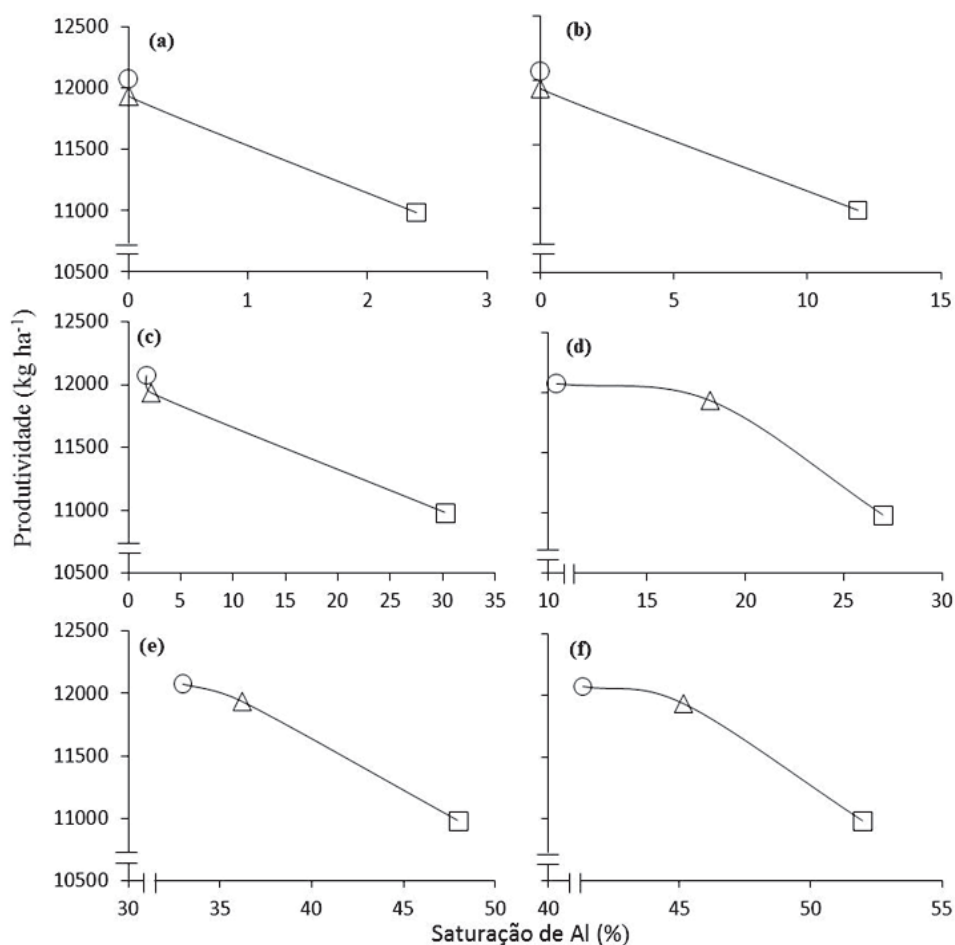


Figura 6. Relação entre a saturação de Alumínio e a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da cultura do milho sob influencia da aplicação doses de gesso + calcário em plantio direto (Experimento 1). a) 0-0,05 m; b) 0,05-0,10 m; c) 0,10-0,15 m; d) 0,15-0,25 m; e) 0,25-0,40 m; f) 0,40-0,60 m.  $\square$   $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Testemunha);  $\triangle$   $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de Gesso +  $2,0 \text{ Calcário}$ ;  $\circ$   $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de Gesso +  $2,0 \text{ Calcário}$ .

Figure 6. Relationship between Aluminium saturation and maize yield under the influence of different broadcast gypsum + lime rates under no-tillage (Experiment 1) a) 0-0.05 m; b) 0.05-0.10 m; c) 0.10-0.15 m; d) 0.15-0.25 m; e) 0.25-0.40 m; f) 0.40-0.60 m.  $\square$   $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (control);  $\triangle$   $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  gypsum +  $2,0 \text{ lime}$ ;  $\circ$   $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gypsum +  $2,0 \text{ lime}$ .

Tabela 6. Equações de regressão entre a saturação de Alumínio e a produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) da cultura do milho sob influencia da aplicação doses de gesso em plantio direto (Experimento 2).

Table 6. Regression equations between the saturation of Al and maize yield obtained with different broadcast gypsum rates under no-tillage (Experiment 2).

Prof. (m)	Equação	R <sup>2</sup>	Nível de significância (P)
0,0-0,05	-----	---	---
0,05-0,10	-----	---	---
0,10-0,15	$\text{Prod}^{\S} = 1162,1 - 54,8 \text{ SAI}^{\S\S} + 14,99 \text{ SAI}^2$	0,60	0,15
0,15-0,25	$\text{Prod} = 1162,1 - 29,43 \text{ SAI} + 2,48 \text{ SAI}^2$	0,50	0,24
0,25-0,40	$\text{Prod} = 1006,6 - 38,88 \text{ SAI} - 2,86 \text{ SAI}^2$	0,88	0,01
0,40-0,60	$\text{Prod} = 1445,9 - 38,55 \text{ SAI} - 1,02 \text{ SAI}^2$	0,62	0,12

<sup>§</sup> Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); <sup>§§</sup> Saturação de Alumínio.

Souza *et al.*, 2012). A grande mobilidade do íon sulfato faz com que o gesso mesmo aplicado em superfície, seja redistribuído rapidamente pelo perfil do solo, potencializando o seu uso pela facilidade de reduzir o alumínio do solo, a partir da formação de espécies menos tóxicas (Raij, 2010; Serafim *et al.*, 2012).

## CONCLUSÕES

A aplicação superficial de gesso e calcário incrementou o teor de  $\text{Ca}^{+2}$  no solo. O teor de  $\text{Ca}^{+2}$  foi relacionado com o conteúdo de carbono do solo, com coeficiente de correlação de 0,67 ( $p > 0,0001$ ) e 0,73 ( $p > 0,0001$ ), para o gesso e gesso + calcário, respectivamente. A porcentagem de Ca na  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  também foi relacionado com o C no solo, com coeficiente de correlação de 0,64 ( $p > 0,0001$ ) e 0,68 ( $p > 0,0001$ ), para o gesso e gesso + calcário, respectivamente. No tratamento  $5,0 + 2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso + calcário verificou-se aumento do C até a profundidade de 0-0,40 m em relação a testemunha. O maior incremento no C foi observado, quando a saturação por Ca na  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  foi de 56,1 e 64,3% para Exp. 1 e 2, respectivamente. No experimento 1, em relação a testemunha a produtividade da cultura do milho foi 8,6 e 9,9% superior nos tratamentos  $2,6 + 2,0$  e  $5,0 + 2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso + calcário, respectivamente. No experimento 2, em relação a testemunha, a aplicação de  $2,0$ ;  $3,0$  e  $5,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de gesso alcançaram incremento de 437; 599 e  $670 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos de milho, respectivamente. O incremento de rendimento de grãos de milho foi significativamente relacionado aos atributos químicos do solo (saturação por cálcio na  $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$  e saturação por alumínio).

## BIBLIOGRAFÍA

- Baldock, JA & JO Skjemstad. 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry* 31: 697-710.
- Bayer, C; TJC Amado; CG Tornquist; CEP Cerri; J Dieckow; JA Zanatta; RS Nicoloso & PCF Carvalho. 2011. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: O Klauber Filho; AL Mafra; LC Gatiboni (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: editora, V.VII, cap.2, p.55-118.
- Brasil. 2009. Regras para análise de sementes: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. 308p.
- Briedis, C; JCM Sá; EF Caires; JF Navarro; TM Inagaki; A Boer; C Quadros Neto; AO Ferreira; LB Canalli & JB Santos. 2012. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. *Geoderma* 170: 80-88.
- Bronick, CJ; R La. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Caires, EF; G Barth; FJ Garbuio & S Churka. 2008. Soil acidity, liming and soybean performance under no-till. *Sci. Agric.* 65: 532-540.
- Caires, EF; MT Kusman; G Barth; FJ Garbuio & JM Padilha. 2004. Alterações nas propriedades químicas do solo e resposta do milho ao calcário e gesso aplicados. *R. Bras. Ci. Solo*, 28: 125-136.
- Castro Filho, C; O Muzilli & AL Podanoschi. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o conteúdo de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *R. Bras. Ci. Solo* 22: 527-538.
- Chan, KY & DP Heenan. 1998. Effect of lime ( $\text{CaCO}_3$ ) application on soil structural stability of a red earth. *Aust. J. Soil Res.* 36: 73-86.
- Chan, KY & DP Heenan. 1999. Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1841-1844.
- Edwards, AP & JM Bremner. 1967. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18: 64-73.
- Embrapa. 1997. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2. ed. Rio de Janeiro.
- Embrapa. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306 p.
- Ferreira, AO. 2009. Compartimentos da matéria orgânica como indicadores do seqüestro de carbono em sistema plantio direto de longa duração. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná.
- Ferreira, AO; JCM Sá; NFB Giarola; MG Harms; S Miara; MA Bavoso; C Briedis & Quadros Netto. 2011. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. *R. Bras. Ci. Solo* 35: 437-446.
- Ferreira, AO; JCM Sá; MG Harms; S Miara; C Briedis; C Quadros Netto; JB Santos; LBS Canalli & CTS Dias. 2012. Relação de estratificação como indicador do sequestro de carbono em macroagregados de Latossolo sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 42, p. 645-652.
- Ferreira, DF. Sisvar versão 5.3 (Biud 75). 2010. Sistemas de análises de variância para dados balanceados: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras.
- Fontana, A; MG Pereira; A Loss; TJC Cunha & JC Salton. 2006. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 41: 847-853.
- Kern, JS & MG Johnson. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Sci.Soc. Am. J.* 57: 200-210.
- Köppen, W. Grundriss der Klimakunde. Berlin, Leipzig: Walter de Gruyter, 1931. 388p.
- Market, CM; MA Pavana & AF Lantmann. 1987. Considerações sobre o uso do gesso na agricultura. Piracicaba: POTAFOS - Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 3p. (*Informações Agrônomicas* 40).
- Munee, M & JM Oades. 1989a. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. *Aust. J. Soil Res.* 27: 411-423.
- Munee, M & JM Oades. 1989b. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with  $^{14}\text{C}$ -labelled straw,  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Aust. J. Soil Res.* 27: 401-409.

- Nelson, DW & LE Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: DL Sparks; AL Page; PA Helmke & RH Loeppert, eds. *Methods of soil analysis: chemical methods. Part 3.* Madison, American Society of America, p.961-1010.
- Pavan MA; FT Bingham & PF Pratt. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 48: 33-38.
- Peterson, JB. 1947. Calcium linkage, a mechanism in soil granulation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 12: 29-34.
- Quaggio, JA & BV Raij. 1996. Correção da acidez do solo. In: BV Raij; H Cantarella; JA Quaggio & AMC Furlani. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.* Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, p.14-19. (*Boletim Técnico*, 100).
- Raij, B van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. 2010. In: LI Prochnow; V Casarin; SR Stipp (org.). *Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes.* Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute - Brasil (IPNI), v.1, p.349-382.
- Rampim, L; MC Lana; JF Frandoloso & S Fontaniva. 2011. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. *R. Bras. Ci. Solo* 35: 1687-1698.
- Rheinheimer, DS; BC Campos; S Giacomini; PC Conceição & EC Bortoluzzi. 2008. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico total no solo. *R. Bras. Ci. Solo* 32: 435-440.
- Richards, LA. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* Washington DC, US Department of Agriculture, 160p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- Sá, JCM; MFM Sá; JB Santos & AO Ferreira. 2008. Dinâmica da Matéria Orgânica nos Campos Gerais. In: I Santos, Gabriel de Araújo (ed.). II. Silva, Leandro Souza da (ed.). III. Canellas, Luciano Pasqualoto (ed.). IV. Camargo, Flávio A de O (ed.). (Org.). *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais.* 2 ed. Porto Alegre: *Metropole* 1: 443-461.
- Sá, JCM & R Lal. 2009. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. *Soil Till. Res.* 103: 46-56.
- Sá, JCM; CC Cerri; R Lal; WA Dick; MC Piccolo & BE Feigl. 2009. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil & Tillage Research.* 104: 56-64.
- Sall, J; L Creighton & A Lehman. 2005. *JMP start statistics: a guide to statistics and data analysis using JMP and JMP IN software.* 3rd ed. Cary: Duxbury Press, 580p.
- Santos, NZ; J Dieckow; C Bayer; R Molin; N Favaretto; V Pauletti & JT Piva. 2011. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferralsol. *Soil Till. Res.* 111: 208-218.
- Serafim, ME; JM Lima; VMP Lima; WM Zeviani & PT Pessoni. 2012. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia* 71: 75-81.
- Six, J; H Bossuyt; S Degryze & K Denef. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79: 7-31.
- Souza, FR; EJ Rosa Junior; CR Fietz; AC Bergamin; YBCJ Rosa & WM Zeviani. 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, 33: 1717-1732.
- Shoemaker, HE; EO Mclean & PF Fratt. 1961. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 274-277.
- Sparling, G; M Vojvodic-Vukovic & LA Schipper. 1998. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1469-1472.
- Stevenson, FJ. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions.* 2.ed. New York, J Wiley, 496p.
- Tedesco, MJ; C Gianello; CA Bissani; H Bohnen & SJ Volkweiss. 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais.* Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. (*Boletim Técnico*, 5).
- Tisdall, JM & JM Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Tisdall, JM. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 729-743.
- Zambrosi, FCB; LRF Alleoni & EF Caires. 2007. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. *Ciência Rural* 37: 110-117.