

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

EVANDRO HENRIQUE GONÇALVES MASCHIETTO

GESSO AGRÍCOLA NA PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA EM SOLO DE ALTA  
FERTILIDADE E BAIXA ACIDEZ EM SUBSUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO

PONTA GROSSA – PR  
2009

EVANDRO HENRIQUE GONÇALVES MASCHIETTO

GESSO AGRÍCOLA NA PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA EM SOLO DE ALTA  
FERTILIDADE E BAIXA ACIDEZ EM SUBSUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO

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

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

PONTA GROSSA – PR  
2009

Ficha Catalográfica Elaborada pelo Setor de Processos Técnicos BICEN/UEPG

M395g

Maschietto, Evandro Henrique Gonçalves

Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície em plantio direto. / Evandro Henrique Gonçalves Maschietto. Ponta Grossa, 2009. 56f.

Dissertação ( Mestrado em Agronomia - Área de Concentração : Agricultura ) - Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador : Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

1. *Zea mays L.* 2. *Glycine max L.* Merrill . 4. Relação cálcio/ magnésio. 5. Lixiviação de íons. 6. Cálcio. 7. Enxofre. I. Caires, Eduardo Fávero. II.T.

CDD : 631.81



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
Coordenação de Colegiado de Curso de Mestrado em Agronomia

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: "GESSO AGRÍCOLA NA PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA EM SOLO DE ALTA FERTILIDADE E BAIXA ACIDEZ EM SUBSUPERFÍCIE EM PLANTIO DIRETO".

Nome: Evandro Henrique Gonçalves Maschietto

Orientador: Eduardo Fávero Caires

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller

Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca

Data da Realização: 31 de julho de 2009.

*Muitos teriam chegado à sabedoria se não acreditassem que já eram  
suficientemente sábios.*

**Juan Luiz Vives (1492-1540).**

**Dedico:**

Aos meus pais, Vanderlei e Maria José, irmãos, Eder e Leonardo e a minha noiva,  
Darcieli

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por tudo que tenho em minha vida e pela oportunidade que me foi concedida para realizar este estudo.

A minha família em especial Pai, Mãe e Irmãos Eder e Leonardo que confiaram e investiram em mim.

Ao professor Dr. Eduardo Fávero Caires, pela dedicada atenção e orientação no presente estudo, pelo companheirismo e aprendizado em todo o período que estive presente no Laboratório de Fertilidade do Solo, durante a realização do mestrado.

Agradeço em especial aos meus amigos Eder Ricardo G. Maschietto, Hélio W. Joris, Fernando J. Garbuio, Paulo R. Ferreira Filho, Renato Zardo e Susana Churka Blum por toda a ajuda e apoio durante a realização e conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos Gabriel Barth, Itacir C. Feldahus, José Cristóvão, Júlios Blum e Paulo E. Maschietto Junior pela ajuda e aprendizado durante a realização deste estudo.

A colaboradora Verônica do laboratório de Fertilidade de Solos por ajudar na realização e execução das tarefas.

Agradeço em especial ao Eng.º Agrônomo, Mestre Leandro Bren pelas informações, apoio, ajuda e confiança durante todo o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Aos proprietários da Fazenda Santa Cruz, em especial ao produtor Renato Cruz por ter concedido a área experimental, pela ajuda e apoio durante todo o período de realização do estudo.

A minha noiva e futura esposa Darcieli S. Spies pela paciência, companheirismo e apoio durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, que durante o decorrer dos anos se tornaram grandes amigos.

Aos Engenheiros Agrônomos Luiz Alberto Guebur Dalzoto e Jeferson Malluta Luciano por acreditarem e confiarem em mim.

A Cooperativa Agrícola Mista de Ponta Grossa pelo apoio, confiança e auxílio durante a realização do estudo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), por possibilitar a realização do mestrado e ao Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, por auxiliar na realização das análises.

A todos os professores desta conceituada instituição que contribuíram no meu ensino e ajudaram a estar aqui hoje.

Agradeço também a todos que de uma forma e outra contribuíram na realização e conclusão deste trabalho.



## RESUMO

Existem dúvidas a respeito das condições em que se podem esperar efeitos favoráveis da aplicação de gesso na produção de grãos das culturas. Com o objetivo de avaliar a influência da aplicação de gesso nos atributos químicos do solo, na nutrição mineral e na produção de milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L. Merrill) em sistema plantio direto, realizou-se um experimento em um Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa com alto teor de carbono orgânico e baixa acidez, em Guarapuava (PR). Os tratamentos, dispostos em blocos completos ao acaso com quatro repetições, constaram de quatro doses de gesso agrícola: 0, 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>. O gesso foi aplicado em setembro de 2005, a lanço na superfície do solo. O milho, híbrido PIONNER 30R50, foi semeado em outubro de 2005, e a soja transgênica, cultivar MAGIC, foi semeada em novembro de 2006 e de 2007. Durante a estação de outono-inverno de 2005 a 2007, a área experimental foi cultivada com aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb). A aplicação de gesso, após 9, 18 e 30 meses, aumentou o teor de P na camada superficial (0–0,10 m) e os teores de Ca<sup>2+</sup> trocável e de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível no perfil do solo (0–0,60 m), bem como a relação Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> nas camadas superficiais e do subsolo. A aplicação de gesso ocasionou lixiviação de Mg<sup>2+</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis para o subsolo. Houve correlação positiva e significativa ( $p < 0,01$ ) entre o teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> extraído com acetato de amônio em ácido acético e com fosfato de cálcio. As doses de gesso aumentaram os teores de P e S no tecido foliar e a produção de grãos de milho. A máxima eficiência técnica (MET) para o milho ocorreu com a dose de 7,8 t ha<sup>-1</sup> de gesso. A nutrição e a produção de grãos de soja não foram influenciadas pela aplicação de gesso. As respostas diferenciadas do milho e da soja à aplicação de gesso devem ter sido ocasionadas pelo fornecimento de S e pelo aumento da relação Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> no solo. A aplicação de gesso agrícola demonstrou ser uma prática eficiente para maximizar a produção de milho, mesmo em solo de alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície no sistema plantio direto.

Palavras-chave: *Zea mays* L., *Glycine max* L. Merrill, relação cálcio/magnésio, lixiviação de íons, cálcio, enxofre.

## Abstract

There are doubts about the conditions in which a favorable effect of the application of gypsum on the yield of grain crops can be expected. In order to evaluate the influence of gypsum application in the soil chemical attributes, in mineral nutrition of maize (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merrill) yield in no-till system, an experiment was carried out in an clay Oxisol with high organic carbon content and low acidity in Guarapuava (PR). The treatments, arranged in randomized complete block with four replications, consisted of four of gypsum: 0, 4, 8 and 12 t ha<sup>-1</sup>. Gypsum was applied in September 2005, set on the soil surface. The corn, hybrid Pioneer 30R50, was sown in October 2005, and the transgenic soybeans, MAGIC cultivar, was sown in November 2006 and 2007. During the autumn-winter seasons of 2005 to 2007, black oats (*Avena strigosa* Schreb) was sown in the experimental area. Gypsum application, after 9, 18 and 30 months, increased the content of exchangeable Ca<sup>2+</sup> and S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> available in the soil profile (0-60 cm) and the Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> ratio in surface layers and subsoil. The application of gypsum caused leaching of exchangeable of Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> the subsoil. There was positive and significant correlation ( $p < 0.01$ ) between the content of S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> extracted with ammonium acetate and acetic acid with calcium phosphate. The rates of gypsum increased the content of S in leaf and grain yield of maize. The maximum technical efficiency (MET) for corn occurred with a rate of 7.8 t ha<sup>-1</sup> of gypsum. Nutrition and grain yield of soybean were not affected by the application of gypsum. The different responses of corn and soybean to the application of gypsum might have been caused by the supply of P, S and the increase in exchangeable Ca<sup>2+</sup> and of the Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> ratio in the soil. The application of gypsum proved to be an efficient practice to maximize corn yield, even in soil of high fertility and low acidity under no-till system.

Keywords: *Zea mays* L., *Glycine max* L. Merrill, calcium/magnesium ratio, leaching of ions, calcium, sulfur.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Dados médios mensais de precipitação pluvial e de temperatura máxima e mínima do ar, ocorridas durante a realização do experimento (maio/2005 a abril/2008), em Guarapuava, PR.....	30
FIGURA 2	Alterações no pH em $\text{CaCl}_2$ e na acidez potencial (H + Al) do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (o), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto.....	34
FIGURA 3	Alterações no teor de Ca trocável e na relação Ca/Mg do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (o), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$ .....	36
FIGURA 4	Alterações nos teores de Mg e K trocáveis do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (o), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$ .....	38
FIGURA 5	Alterações nos teores de $\text{S-SO}_4^{2-}$ do solo, extraídos com as soluções de fosfato de cálcio $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ e de acetato de amônio em ácido acético ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ), nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (o), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$ .....	40
FIGURA 6	Correlação entre os teores de sulfato no solo (0–60 cm) extraídos com as soluções de fosfato de cálcio $0,01 \text{ mol L}^{-1} [\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ e de acetato de amônio $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ em ácido acético $0,025 \text{ mol L}^{-1} (\text{NH}_4\text{OAc})$ , após 9, 18 e 30 meses da aplicação de gesso agrícola. **: $p < 0,01$ .....	41
FIGURA 7	Alterações nos teores de C orgânico e de P (Mehlich-1) do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (o), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. *: $p < 0,05$ e **: $p < 0,01$ .....	43
FIGURA 8	Produção de grãos de milho no ano agrícola de 2005-2006, em função das doses de gesso agrícola na superfície, em plantio direto. *: $p < 0,05$ . ....	47
FIGURA 9	Produção de grãos de soja nos anos agrícolas de 2006-2007 (□) e 2007 - 2008 (■), em função das doses de gesso agrícola na superfície, em plantio direto.....	49

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Resultados de análises químicas e granulométricas do solo, em diferentes profundidades, realizadas antes da instalação do experimento em 2005. ....	26
TABELA 2	Concentrações de nutrientes nas folhas de milho (2005-2006) e soja (2007-2008), considerando a aplicação de gesso na superfície em plantio direto. ....	45
TABELA 3	Coefficientes de correlação linear entre os teores de Ca, Mg, K trocáveis e a relação Ca/Mg, em diferentes profundidades do solo, e a produção de grãos de milho cultivado em de plantio direto. ....	48

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1	Propriedades do gesso agrícola.....	15
2.2	Sistema de plantio direto (SPD) e efeito do gesso nos solos.....	16
2.3	Produção de grãos das culturas com a aplicação de gesso agrícola.....	22
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
3.1	Localização do experimento.....	26
3.2	Delineamento experimental .....	26
3.3	Sucessão de culturas .....	27
3.4	Instalação e condução do experimento.....	27
3.4.1	Cultura do milho: ano agrícola 2005-2006 .....	27
3.4.2	Cultura da soja: ano agrícola 2006-2007 e 2007-2008.....	28
3.5	Condições climáticas .....	29
3.6	Análises químicas do solo.....	29
3.7	Análises químicas do tecido foliar do milho (2005-2006) e de soja (2007-2008) .....	31
3.8	Produção de grãos de milho e soja.....	32
3.9	Análises estatísticas.....	32
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
4.1	Atributos químicos do solo .....	33
4.2	Nutrição mineral das plantas de milho (2005-2006) e soja (2007-2008).....	44
4.3	Produção de grãos de milho e soja.....	46
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	51
6	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) foi introduzido no Brasil no início da década de 1970, visando minimizar os processos degradantes ocasionados pelo preparo convencional de solo, que levavam a perdas consideráveis de solo e de nutrientes por erosão.

No SPD, a ausência de revolvimento e a adição de resíduos vegetais, fertilizantes e corretivos na superfície promovem alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo que se refletem na fertilidade do solo e na nutrição das plantas. Por conseqüência, tornou-se necessária a adoção de um novo enfoque de estudo, principalmente em relação ao manejo da fertilidade do solo.

As pesquisas envolvendo o uso do gesso agrícola ou “fosfogesso” na agricultura intensificaram-se a partir da década de 1980, aliadas à preocupação com o resíduo produzido pelas indústrias de ácido fosfórico. O gesso agrícola, subproduto da indústria de ácido fosfórico, que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de fósforo (P) e flúor (F), é largamente disponível em muitas partes do mundo. A aplicação de gesso na superfície, seguida por lixiviação para subsolos ácidos, resulta em melhor crescimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas, em decorrência do aumento da concentração de cálcio (Ca) trocável (CAIRES et al., 2003), da formação de espécies menos tóxicas de alumínio (Al) na forma de  $AlSO_4^+$  e da precipitação de

$Al^{3+}$  (ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007). Em casos de solos com concentração muito baixa de Al, mas com baixa concentração de Ca, o suprimento de Ca é o principal fator responsável pelo melhor crescimento do sistema radicular (RITCHEY; SILVA; COSTA, 1982). Além de ser utilizado para a melhoria do ambiente radicular no subsolo, o gesso agrícola também pode ser empregado como fonte de Ca e S para as culturas.

A adubação com S tem sido negligenciada na agricultura brasileira devido ao uso freqüente de formulações concentradas de fertilizantes que não contém S em sua composição. As alterações no solo provocadas pela aplicação de gesso são complexas e seus efeitos nas plantas são difíceis de serem isolados.

As culturas têm apresentado respostas diferenciadas ao emprego de gesso agrícola. Trabalhos realizados com a aplicação de gesso em SPD têm demonstrado pouca ou nenhuma resposta da cultura da soja e incrementos importantes no rendimento de grãos de milho (CAIRES et al., 1999, 2003, 2004, 2006; NOGUEIRA e MELO, 2003; TOMA et al., 1999) .

O aumento na produção de milho com a aplicação de gesso tem sido relacionado com a melhoria do ambiente radicular no subsolo (aumento de Ca e diminuição da toxicidade por Al). Estudo realizado em SPD mostrou aumento na produção de milho com a adição de gesso em solos que não tinham níveis tóxicos de Al e que apresentavam teores suficientes de Ca, tanto nas camadas superficiais quanto no subsolo (GARBUIO, 2006). O aumento de  $Ca^{2+}$  trocável e da relação  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  no solo, bem como o fornecimento de S às plantas, com o uso de gesso, podem ser fatores responsáveis pela melhoria da nutrição das plantas e, conseqüentemente, pelo aumento na produção de grãos de milho.

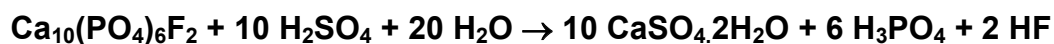
Considerando as hipóteses de que (i) as culturas de milho e soja apresentam respostas diferenciadas à aplicação de gesso e (ii) o aumento na produção de milho com o uso de gesso pode não estar associado com a melhoria das condições de acidez no subsolo, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a nutrição e a produção de grãos de milho e soja após a adição de gesso, em solo com alto teor de carbono orgânico e baixa acidez em subsuperfície no SPD.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Propriedades do gesso agrícola

O gesso agrícola ou fosfogesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) é um subproduto da indústria de ácido fosfórico que contém principalmente sulfato de cálcio e pequenas concentrações de P e F (NUENBERG; RECH; BASSO, 2004). É originário da reação de ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada, realizada com o fim de produzir ácido fosfórico (RAIJ, 1988). De forma simplificada, essa reação pode ser representada por:



O gesso agrícola é um sal neutro que não afeta diretamente a reação do solo, apresenta-se na forma de pó e possui solubilidade em água de 2,04 g/L a 25°C. Segundo Paolinelli et al. (1986), para cada tonelada de  $\text{P}_2\text{O}_5$  ocorre a produção de 4,5 t de gesso agrícola. Somente no Brasil, cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso agrícola são produzidos anualmente (VITTI, 2000). O P, mesmo sendo encontrado em baixas concentrações (0,7 a 0,9% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) no gesso agrícola, pode ser considerado uma impureza importante para a nutrição das plantas quando o gesso é aplicado em doses elevadas (CAIRES et al., 2003; SUMNER et al., 1986).

O F é, em geral, uma impureza desprezada nas considerações sobre o uso de gesso agrícola. No entanto, o elemento pode ser importante para a eliminação do

alumínio do solo. Oates e Caldwell (1985) verificaram que o gesso agrícola pode reduzir o alumínio no solo, pela formação de fluoreto de alumínio e, com isso, favorecer a sua lixiviação. É importante ressaltar que os baixos teores de F contidos no gesso agrícola podem limitar a ação do elemento sobre o alumínio do solo.

## **2.2 Sistema plantio direto (SPD) e efeito do gesso nos solos**

O SPD foi estabelecido no Brasil no início da década de 1970 visando garantir maior sustentabilidade para a agricultura em áreas ameaçadas pelas perdas de solo e de nutrientes por erosão. A partir de 1990 houve grande expansão da área cultivada em SPD no país, sendo atualmente cultivados no Brasil cerca de 25 milhões de hectares nesse sistema. A área mundial em SPD é de aproximadamente 95,7 milhões de hectares. O Brasil ocupa a segunda maior área cultivada no mundo em SPD, depois dos Estados Unidos da América (DERPSCH, 2005).

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável (CIOTTA et al., 2004). A acidez do solo é considerada um dos principais fatores que mais limita a produtividade das culturas no mundo, inclusive no Brasil. Em solos ácidos existem problemas de deficiência de Ca e/ou toxidez de Al, que podem causar impedimento à penetração de raízes (FAGERIA, 2001).

Os solos podem ser naturalmente ácidos em função da pobreza do material de origem em cátions básicos e das condições de pedogênese que favorecem a remoção de cátions básicos. A reação do  $\text{CO}_2$  do solo com a água, formando  $\text{H}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  (reação que ocorre geralmente em  $\text{pH} > 5,2$ ), também é capaz de gerar acidificação no solo porque a transferência do íon  $\text{H}^+$  para a fase sólida libera um

cátion trocável para a solução do solo que pode ser lixiviado por meio da formação de par iônico com o ânion bicarbonato. A adição de fertilizantes nitrogenados é considerada uns dos principais fatores que causam acidificação no solo, porque durante a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , por microrganismos nitrificantes, ocorre a liberação de  $\text{H}^+$ , que ocupa as posições de troca dos cátions trocáveis, os quais são lixiviados pelo  $\text{NO}_3^-$  (RAIJ, 1991). A poluição atmosférica também pode contribuir para a acidificação do solo por meio da “chuva ácida”, sendo esta forma de acidificação restrita às proximidades de áreas industriais (PAVAN; OLIVEIRA, 1997).

Na agricultura, a calagem é a principal prática utilizada para a correção da acidez do solo. A aplicação de calcário proporciona condições favoráveis para o crescimento do sistema radicular e melhora a absorção de água e de nutrientes pelas plantas (CANTARELLA, 1993). No SPD, a calagem é realizada na superfície sem incorporação. Devido à baixa solubilidade do calcário e dos produtos de sua reação no solo, a calagem superficial não apresenta efeito rápido na redução da acidez em camadas do subsolo e na ocorrência de subsolos ácidos com baixa concentração de Ca e/ou alto teor de Al, o crescimento do sistema radicular e a nutrição das plantas podem ser severamente comprometidos, especialmente em condições de deficiência hídrica.

O gesso agrícola, quando aplicado na superfície do solo, movimenta-se ao longo do perfil com a influência do excesso de umidade. Como consequência tem-se aumento no teor de Ca trocável e redução na toxicidade por Al em camadas do subsolo. A redução da toxicidade por Al com a adição de gesso ocorre pela formação de espécies menos tóxicas de Al ( $\text{AlSO}_4^+$ ) e pela precipitação de  $\text{Al}^{3+}$  (SHAINBERG et al., 1989; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007). A melhoria nas condições químicas do subsolo por meio do uso de gesso tem resultado em melhor

crescimento do sistema radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas plantas (SUMNER et al., 1986; CARVALHO; RAIJ, 1997).

A possibilidade de o gesso alterar a constituição química da solução do solo é consequência dos incrementos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{S-SO}_4^{-2}$  (RAIJ, 1991), podendo levar à formação de várias espécies químicas na solução do solo, após a adição de gesso. A formação de pares iônicos em solução altera a biodisponibilidade e a função biológica do elemento químico, sendo muito importantes os estudos de especiação química para a adequada interpretação da disponibilidade de íons para as raízes das plantas. Chaves, Pavan e Ighe (1984) verificaram que a absorção de Ca por raízes de cafeeiro diminuiu com a redução da valência do cátion em solução, após a formação de pares de íons com nitrato ( $\text{CaNO}_3^+$ ), cloreto ( $\text{CaCl}^+$ ) ou sulfato ( $\text{CaSO}_4^0$ ). Em um estudo de especiação iônica da solução do solo, cinco anos após a aplicação de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho distrófico sob SPD, Zambrosi, Alleoni e Caires (2007) não verificaram grande influência do gesso na amenização da toxidez do Al, decorrente da intensa complexação do Al com o carbono orgânico dissolvido na solução, sendo que o carbono orgânico dissolvido também apresentou grande participação na complexação de Ca e Mg na solução do solo.

A eficiência do gesso na melhoria das condições de acidez no subsolo tem sido demonstrada em vários trabalhos (CAIRES et al., 1999, 2003; CARVALHO; RAIJ, 1997; TOMA et al., 1999; NOGUEIRA; MELO, 2003). Estudo realizado em um Latossolo Vermelho distrófico textura média na região dos Campos Gerais do Paraná revelou aumento no pH do subsolo, aos 14 e 36 meses após a aplicação do gesso (CAIRES et al., 1999). Esse efeito tem sido atribuído a uma reação de troca de ligantes na superfície das partículas do solo, envolvendo óxidos de Fe e Al, com

o  $\text{S-SO}_4^{2-}$  deslocando  $\text{OH}^-$  e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez do solo (REEVE; SUMNER, 1972).

Os efeitos do gesso, quando aplicado em altas doses no solo, podem perdurar por muito tempo. A aplicação de gesso na superfície, em um Latossolo Vermelho textura argilosa sob SPD, aumentou o teor de Ca trocável em todo o perfil de solo estudado (0-0,60 m), sendo nítida a maior movimentação do  $\text{Ca}^{2+}$  com a aplicação de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso agrícola, após 32 meses (CAIRES et al., 2003). Nesse mesmo solo, Caires et al. (2006) obtiveram aumento no teor de Ca trocável no perfil (0-0,60 m) após 55 meses da aplicação de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso em superfície. Em um Latossolo Vermelho textura média sob SPD foi verificado que 80% do Ca trocável tinha sido absorvido pelas plantas e/ou lixiviado para profundidades maiores que 0,60 m, após 64 meses da aplicação de  $12 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso (CAIRES et al., 2001b). Toma et al. (1999) observaram que a adição de  $35 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso, em um solo argiloso caulínico no estado da Georgia (EUA), aumentou o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  trocável até a profundidade de 1,20 m, após 16 anos da aplicação.

O aumento de Ca trocável com a utilização de gesso pode ser acompanhado de lixiviação de Mg e K trocáveis no solo. A lixiviação de Mg trocável tem sido uma resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos (CAIRES et al., 1999, 2003, 2006; FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; QUAGGIO et al., 1993; TOMA et al., 1999). Caires et al. (1999) verificaram que a movimentação de  $\text{Mg}^{2+}$  com a aplicação de gesso foi maior quando os teores de Mg trocáveis eram mais elevados nas camadas superficiais do solo. Caires et al. (2003) observaram diminuição no teor de  $\text{Mg}^{2+}$  nas camadas superficiais do solo e acúmulo do nutriente em camadas do subsolo, 8 meses após a aplicação de gesso. Caires et al. (2006)

verificaram redução do  $Mg^{2+}$  nas camadas superficiais (0-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) e do subsolo (0,20-0,40 m), após 55 meses da aplicação de gesso.

A Movimentação de  $Mg^{2+}$  da camada de 0,20-0,60 m para a camada de 1,0-1,20 m, após 16 anos da aplicação de gesso, foi observada por Toma et al. (1999). Farina, Channon e Thibaud (2000) também verificaram redução de  $Mg^{2+}$  na camada 0-0,30 m e aumento do nutriente na camada de 0,30- 0,75 m, após 10 anos da aplicação de gesso. A lixiviação de Mg trocável com a utilização de gesso está relacionada com a formação do par iônico  $MgSO_4^0$ , que favorece a sua lixiviação no solo. Portanto, quando o gesso é empregado em doses elevadas, devem ser desenvolvidas estratégias para minimizar as perdas de Mg trocável. Nesse caso, a aplicação de calcário dolomítico para a correção da acidez do solo pode ser considerada uma estratégia eficiente para minimizar as perdas de Mg trocável provocadas pelo uso de gesso e maximizar a produção de grãos das culturas (CAIRES et al., 2004).

A lixiviação de K trocável com o emprego de gesso também pode ocorrer, dependendo do tipo de solo (SOUZA; RITCHEY, 1986). Destaca-se, no entanto, que na maioria dos trabalhos encontrados na literatura a lixiviação de  $K^+$  tem sido bem menos pronunciada que a de  $Mg^{2+}$  nos solos (CAIRES et al., 2004; 2006; QUAGGIO et al., 1993).

Outra utilidade do gesso está no fornecimento de S para as culturas, um aspecto importante, já que o uso de fertilizantes com altas concentrações e que não contêm S em sua composição tem se intensificado na agricultura, situação que pode comprometer, ao longo dos anos, as reservas de S no solo e a disponibilidade do nutriente para as plantas (CHURKA, 2007; GARBUIO, 2006). Trabalhos realizados

no estado de Iowa (EUA) indicaram que os níveis de S no solo encontrados na atualidade são 3,5 a 5,0 vezes menores do que na década de 1970 (SAWYER; BARKER, 2002). Esses autores alertam que a redução no nível de S está relacionada à remoção de sulfato no solo por lixiviação, o declínio da matéria orgânica e a ausência de adubações que contenham S na formulação. Deve-se considerar, no entanto, que ainda não se encontram bem definidos os níveis críticos de S disponível no solo, para a maioria das culturas.

Nos solos, o S se encontra nas formas orgânica e inorgânica, sendo a orgânica predominante, podendo representar mais de 90% do S total. A disponibilidade do S orgânico para as plantas depende de sua transformação para formas inorgânicas, que se apresentam quase que exclusivamente na forma de sulfato, o qual é retido pelos grupos funcionais dos colóides do solo (RHEINHEIMER et al., 2005). A energia de ligação do  $\text{SO}_4^{2-}$  aos grupos funcionais das partículas coloidais é fraca comparativamente àquela do fosfato. Desse modo, tanto a quantidade total de S quanto a capacidade de adsorção do  $\text{SO}_4^{2-}$  no solo são menores em solos com baixos teores de argila e sua retenção é ainda diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato (CAMARGO; RAIJ, 1989). Assim, há movimentação do ânion sulfato para as camadas mais profundas do solo, onde pode ser adsorvido por causa dos maiores teores de argila, menores teores de matéria orgânica e menores valores de pH (RHEINHEIMER et al., 2005).

Vários trabalhos realizados com gesso agrícola têm demonstrado aumento nos teores de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , principalmente nas camadas do subsolo (NOGUEIRA; MELO, 2003; TOMA et al., 1999). Caires et al. (2004) observaram que o gesso aplicado na superfície de um Latossolo Vermelho distrófico sob SPD, após 43 meses, aumentou

o teor de sulfato em todo o perfil (0-0,80 m), com maiores acúmulos de  $S-SO_4^{2-}$  nas camadas de solo mais profundas (0,40-0,60 e 0,60-0,80 m).

Além do fornecimento de Ca e S, incrementos de P no solo também podem ocorrer com aplicações de doses elevadas de gesso. Caires et al. (2003) verificaram aumento linear de P (Mehlich-1) na camada superficial do solo (0-0,05 m), após 8, 20 e 32 meses da aplicação de até  $9 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso na superfície em SPD. O aumento de P no solo proporcionado pelo gesso resultou em maior teor de P nas folhas de soja (CAIRES et al., 2003). O P é considerado uma impureza importante no gesso agrícola, porque o emprego de doses elevadas de gesso pode melhorar a nutrição de P pelas plantas (CAIRES et al., 2003; SUMNER et al., 1986).

### **2.3 Produção de grãos das culturas com a aplicação de gesso agrícola**

As principais culturas de grãos utilizadas na rotação de cultivos anuais, em todo o Brasil, têm apresentado respostas diferenciadas à aplicação de gesso agrícola. Em vários trabalhos realizados com a cultura da soja não foram observados aumentos na produção de grãos com a aplicação de gesso (CAIRES et al., 1999, 2003 e 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003; QUAGGIO et al., 1993). De acordo com Nogueira e Melo (2003), a ausência de resposta da soja à aplicação de gesso evidencia que os teores de S no solo não eram limitantes, tendo sido a quantidade de S proveniente da mineralização da matéria orgânica suficiente para suprir as necessidades da cultura. Churka (2007), avaliando os efeitos da aplicação e da reaplicação de gesso em SPD, não observou aumento na produção de grãos de soja convencional. Porém, no ano agrícola em que foi avaliado o cultivar de soja



transgênica, verificou-se incremento na produção de grãos com a reaplicação de gesso, cujo resultado foi atribuído ao aumento de  $S-SO_4^{2-}$  no solo.

Em Iowa (EUA), estudos realizados nos anos de 2000 e 2001 para avaliar o efeito da aplicação de S nos solos agrícolas cultivados com soja, mostraram ausência de resposta na produção de grãos de soja com a aplicação de S (SAWYER; BARKER, 2002). Segundo esses autores, a ausência de resposta da soja à aplicação de S poderia estar relacionada com a concentração suficiente de S no solo, com a decomposição de resíduos vegetais e com a mineralização da matéria orgânica do solo. Os autores destacam, também, que o uso de estrume nos solos dessa região é uma importante fonte de S que pode contribuir para reduzir a necessidade do nutriente na implantação da cultura da soja.

No Brasil, a produção de grãos de milho tem aumentado em vários estudos com a aplicação de gesso (CAIRES et al., 1999, 2004; RAIJ et al., 1998). No estudo de Caires et al. (1999), realizado em um Latossolo Vermelho textura média sob SPD, a cultura do milho respondeu de forma quadrática às doses de gesso aplicadas (0, 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>), sendo o aumento na produção de grãos associado ao aumento de  $Ca^{2+}$  trocável e da relação Ca/Mg do solo, bem como ao aumento do S no tecido foliar do milho. Caires et al. (2004), estudando a combinação de calcário e gesso em SPD, verificaram um incremento de 17% na produção de grãos do milho. Garbuió (2006), buscando melhorar a relação Ca/Mg no solo por meio da reaplicação de gesso agrícola em SPD, verificou aumento de 8% na produção de grãos de milho.

No estado da Georgia (EUA), Toma et al. (1999) avaliaram os efeitos do gesso agrícola, após 16 anos de sua aplicação, e observaram aumento na produção

de milho de, aproximadamente, 29% e 50%, respectivamente, com as doses de 10 e 35 t ha<sup>-1</sup> de gesso. Farina, Channon e Thibaud (2000) verificaram respostas positivas do milho após 10 anos de aplicação de gesso, em um Ultisol da África do Sul.

O aumento de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> no solo por meio do uso do gesso agrícola pode ser um fator favorável ao aumento na produção de milho. Rheinheimer et al. (2005) obtiveram aumento de aproximadamente 22% na produção de grãos de milho com a aplicação de 53,5 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato em um Argissolo Vermelho distrófico manejado há 17 anos no SPD. Segundo esses autores, a deficiência de S no solo pode ser um fator limitante e a sua adição torna-se uma forma viável de melhorar a produtividade.

Os cereais de inverno também têm mostrado respostas positivas importantes à aplicação de gesso. Caires, Feldhaus e Blum (2001) obtiveram aumento linear na produção de grãos de cevada cultivada no SPD, em função de doses de gesso de até 9 t ha<sup>-1</sup> aplicadas em superfície, o qual foi correlacionado com o aumento de Ca trocável, da relação Ca/Mg e de sulfato disponível no solo. Aumentos substanciais na produção de trigo têm sido obtidos com a aplicação de gesso, tanto devido à melhoria do ambiente radicular no subsolo (redução na toxicidade de Al), como também pelo fornecimento de Ca e S pelo gesso (CAIRES et al., 2002b). Em outros trabalhos, o trigo também apresentou respostas positivas ao Ca aplicado (BREENAN, BOLLAND, WALTON, 2007) e ao fornecimento de S (SHARMA et al., 2007).

O aumento na produção de grãos das culturas com o uso do gesso agrícola pode estar relacionado com a melhoria do ambiente radicular no subsolo por meio do aumento de Ca e da redução na toxicidade do Al (RAIJ et al., 1998) e com o

aumento de Ca trocável e de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> disponível no solo (CAIRES et al., 1999, 2001a, 2004).

A realização de estudos com aplicação de gesso em solos com alto teor de carbono orgânico e baixa acidez em subsuperfície é de fundamental importância para obter melhor compreensão dos efeitos positivos do gesso na produção das culturas, visando definir critérios para a utilização de gesso agrícola.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização do experimento

O experimento foi instalado no município de Guarapuava (PR), Fazenda Santa Cruz, em um Latossolo Vermelho distrófico textura muito argilosa (EMBRAPA, 1997), que vinha sendo manejado há 15 anos sob plantio direto. Os resultados de análises químicas e granulométricas do solo, realizadas antes da instalação do experimento, são mostradas na tabela 1.

**Tabela 1.** Resultados de análises químicas e granulométricas do solo, em diferentes profundidades, realizadas antes da instalação do experimento em 2005.

Profundidade	pH <sup>1</sup>	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P <sup>2</sup>	C	V <sup>3</sup>	Areia	Silte	Argila
(m)		-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	%	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0-0,05	6,1	36,9	0,0	55,0	28,0	4,8	6,3	36	70	80	320	600
0,05-0,10	5,9	42,8	0,0	48,0	24,0	4,4	6,3	28	64	77	303	620
0,10-0,20	5,7	49,6	0,0	44,0	18,0	3,9	3,1	24	57	72	228	700
0,20-0,40	5,2	62,1	0,0	23,0	29,0	2,4	1,8	20	47	64	216	720
0,40-0,60	5,0	66,9	0,0	15,0	10,0	4,2	1,5	17	30	67	193	740

<sup>1</sup>pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, <sup>2</sup>P extraído por solução de Mehlich-1 e <sup>3</sup>V = saturação por bases.

#### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental empregado foi o de blocos completos ao

acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de quatro doses de gesso agrícola: 0, 4, 8 e 12 t ha<sup>-1</sup>, em parcelas de 7 x 7 m (49 m<sup>2</sup>). As doses de gesso foram calculadas visando elevar a relação Ca/Mg trocáveis do solo, a valores entre 4 e 8, na profundidade de 0-0,20 m. A aplicação do gesso agrícola foi realizada a lanço sobre a superfície do solo em 28 de setembro de 2005, antes da semeadura do milho.

### **3.3 Sucessão de culturas**

No período compreendido entre junho de 2005 e novembro de 2007, foram utilizados na rotação de culturas: aveia-preta (2005), milho (2005/2006), aveia-preta (2006), soja (2006/2007), aveia-preta (2007) e soja (2007/2008).

### **3.4 Instalação e condução do experimento**

#### **3.4.1 Cultura do milho: ano agrícola 2005-2006**

A semeadura do milho, híbrido PIONEER 30R50, foi realizada em 07 de outubro de 2005, na densidade média de 5,4 sementes por metro e espaçamento de 0,75 m entre as linhas, após o cultivo de aveia-preta para a formação de palha. A adubação empregada foi de 204 kg ha<sup>-1</sup> de N (42 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e 162 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura), 102 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (na semeadura) e 120 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (aplicado em cobertura, uma semana antes da semeadura). Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade da cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado com a aplicação de um herbicida a base de *Atrazine* na dose de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo e de um herbicida a base de *Mesotrione* na dose de 72,0 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo. Para o controle de lagartas do cartucho

(*Spodoptera frugiperda*) foi realizada uma aplicação do inseticida *Lufenuron* na dosagem de 15 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo.

### **3.4.2 Cultura da soja: ano agrícola 2006-2007 e 2007-2008**

A semeadura da soja, cultivar Magic, foi efetuada em 06/11/2006 e 24/11/2007, na densidade de 10 sementes por metro e espaçamento de 0,40 m entre as linhas, após o cultivo de aveia-preta para a formação de palha. A soja foi semeada em 2006 sem a aplicação de fertilizantes e, para a soja cultivada em 2007, a adubação de base foi realizada a lanço, antes da semeadura, na dose de 250 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 02-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). As sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum* e os tratamentos fitossanitários foram realizados, a cada ano, conforme a necessidade da cultura. No cultivo da soja em 2006, o controle de plantas daninhas foi efetuado por meio da aplicação de *Glyphosate* em pré-semeadura (720 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) e também em pós-emergência (1080 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo). Para a soja cultivada em 2007, o controle de plantas daninhas foi feito por meio da aplicação de *Glyphosate* somente na pré-semeadura (960 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo). Nos dois cultivos de soja, o controle de lagartas foi feito com duas aplicações de triflumurom, na dose de 14,4 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo. Para o controle de doenças, aplicaram-se trifloxystrobin (75 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) + ciproconazole (32 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo), no primeiro cultivo da soja em 2006, e epoxiconazol (25 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) + piraclostrobin (66,5 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo) e trifloxystrobin (75 g ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo) + ciproconazol (32 g ha<sup>-1</sup> de ingrediente ativo), no segundo cultivo da soja em 2007.

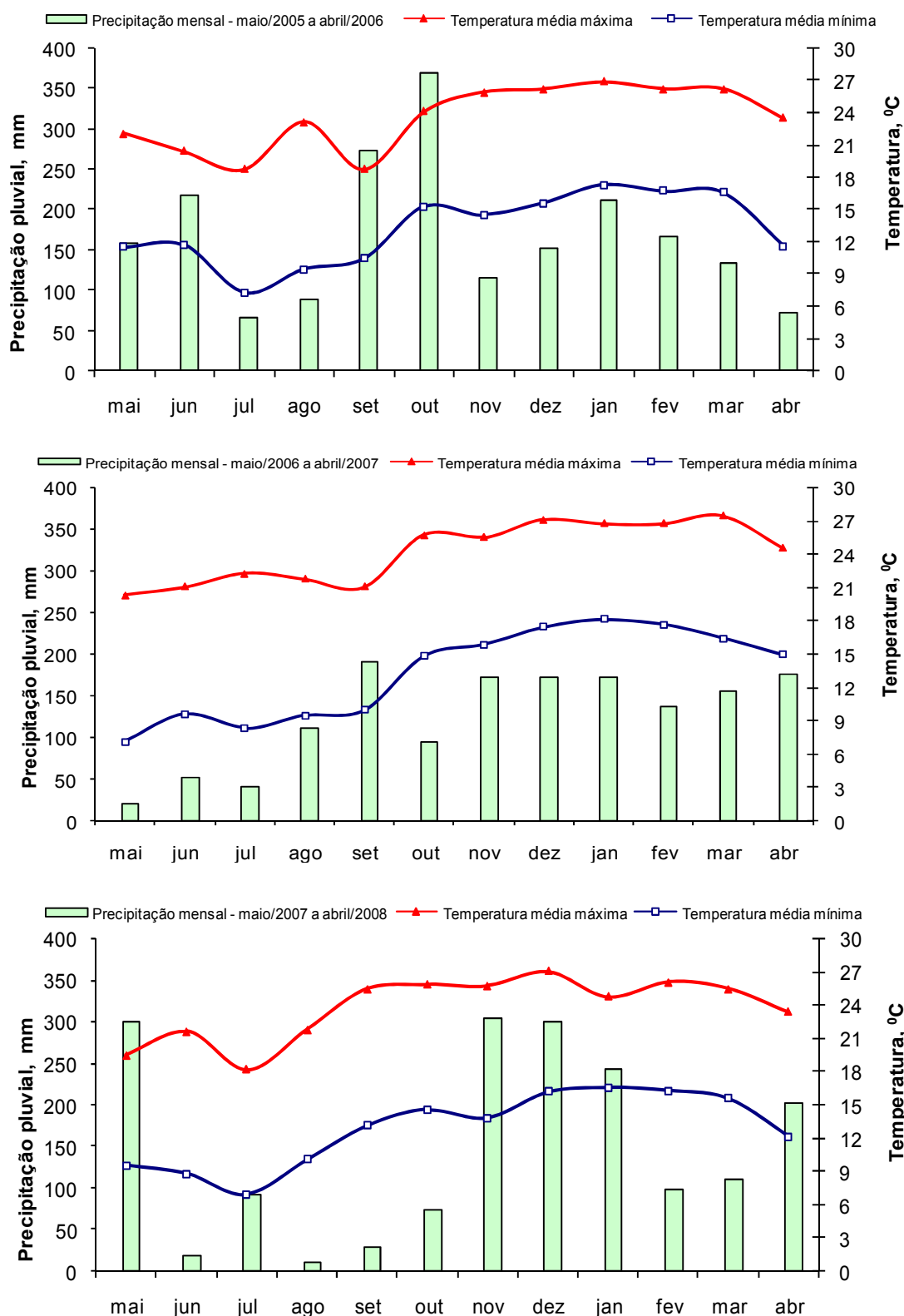
### **3.5. Condições climáticas**

O clima da região, conforme a classificação de Köppen, é classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico (tipo Cfb), apresentando temperaturas amenas durante o verão e geadas severas no inverno, sem a ocorrência de estação seca definida (IAPAR, 2009). Os dados médios mensais de precipitação pluvial e de temperatura máxima e mínima do ar, ocorridas durante o período da realização do experimento no campo, estão apresentados na figura 1.

### **3.6. Análises químicas do solo**

Os efeitos do gesso agrícola nos atributos químicos do solo foram avaliados em três épocas de amostragem. A primeira amostragem foi realizada após a colheita do milho, em junho de 2006, aproximadamente 9 meses após a aplicação de gesso. A segunda amostragem foi realizada após a colheita da soja, no final de março de 2007, cerca de 18 meses após a aplicação do gesso. A terceira amostragem foi realizada após a colheita da soja, no final de março de 2008, aproximadamente 30 meses após a aplicação do gesso.

As amostragens de solo foram realizadas nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. As amostras das camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m foram coletadas por meio de trado calador, retirando-se doze subamostras por parcela na entrelinha da cultura anterior, para compor uma amostra composta. Para as camadas de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m foram retiradas cinco subamostras por parcela na entrelinha, por meio de trado holandês, para formar uma amostra composta.



**Figura 1.** Dados médios mensais de precipitação pluvial e de temperatura máxima e mínima do ar, ocorridas durante o período de realização do experimento (maio/2005 a abril/2008), em Guarapuava, PR. (IAPAR, 2009)



De acordo com os métodos sugeridos por Pavan et al. (1992) foram determinados o pH do solo em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e os teores de  $\text{H}^+\text{Al}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P (Mehlich-1) e C-orgânico. Também foram determinados os teores de  $\text{S-SO}_4^{2-}$ , por meio de dois extratores: solução de fosfato de cálcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (CANTARELLA; PROCHNOW, 2001) e solução de acetato de amônio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$  (VITTI; SUZUKI, 1978).

### **3.7. Análises químicas do tecido foliar do milho (2005-2006) e da soja (2007-2008)**

No início do florescimento da cultura do milho (05 de janeiro de 2006), coletaram-se amostras de folhas em 30 plantas de cada parcela, retirando-se o terço médio da folha imediatamente abaixo e oposta à espiga, sem nervura. Na cultura da soja, somente no segundo cultivo, as folhas foram coletadas no estágio R5.1 (16 de fevereiro de 2008), também em 30 plantas de cada parcela, retirando-se o terceiro trifólio (sem pecíolo), a partir do ápice das plantas. As amostras de tecido foliar de milho e soja foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de  $60^\circ \text{C}$ , até atingir massa constante. A seguir, as amostras foram moídas em moinhos tipo “Wiley” equipado com peneira de malha  $0,85 \text{ mm}$  e guardadas em recipientes plásticos até a realização das análises químicas. Determinaram-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e S no tecido foliar das culturas de milho e soja, segundo os métodos sugeridos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os teores de N foram determinados por meio de digestão sulfúrica e leitura pelo método de semi-micro-Kjeldahl. As concentrações de P, K, Ca, Mg e S foram determinadas por meio de digestão nítrico-perclórico e leitura por colorimetria do metavanadato para P, espectrofotometria de emissão de chama para K,

espectrofotometria de absorção atômica para Ca e Mg e turbidimetria do sulfato de bário para S.

### **3.8 Produção de grãos de milho e soja**

A produção de grãos de milho e soja foi avaliada após a maturação fisiológica das culturas, por meio de colheita manual e trilhagem em máquina debulhadora estacionária. A colheita de milho foi realizada em 07 de abril de 2006 e a de soja em 24 de março de 2007 e 29 de março de 2008. As áreas úteis colhidas de cada parcela foram de 12 m<sup>2</sup> para o milho e 9,6 m<sup>2</sup> para a soja. O teor de água nos grãos das culturas de milho e soja foi corrigido para 130 g kg<sup>-1</sup>.

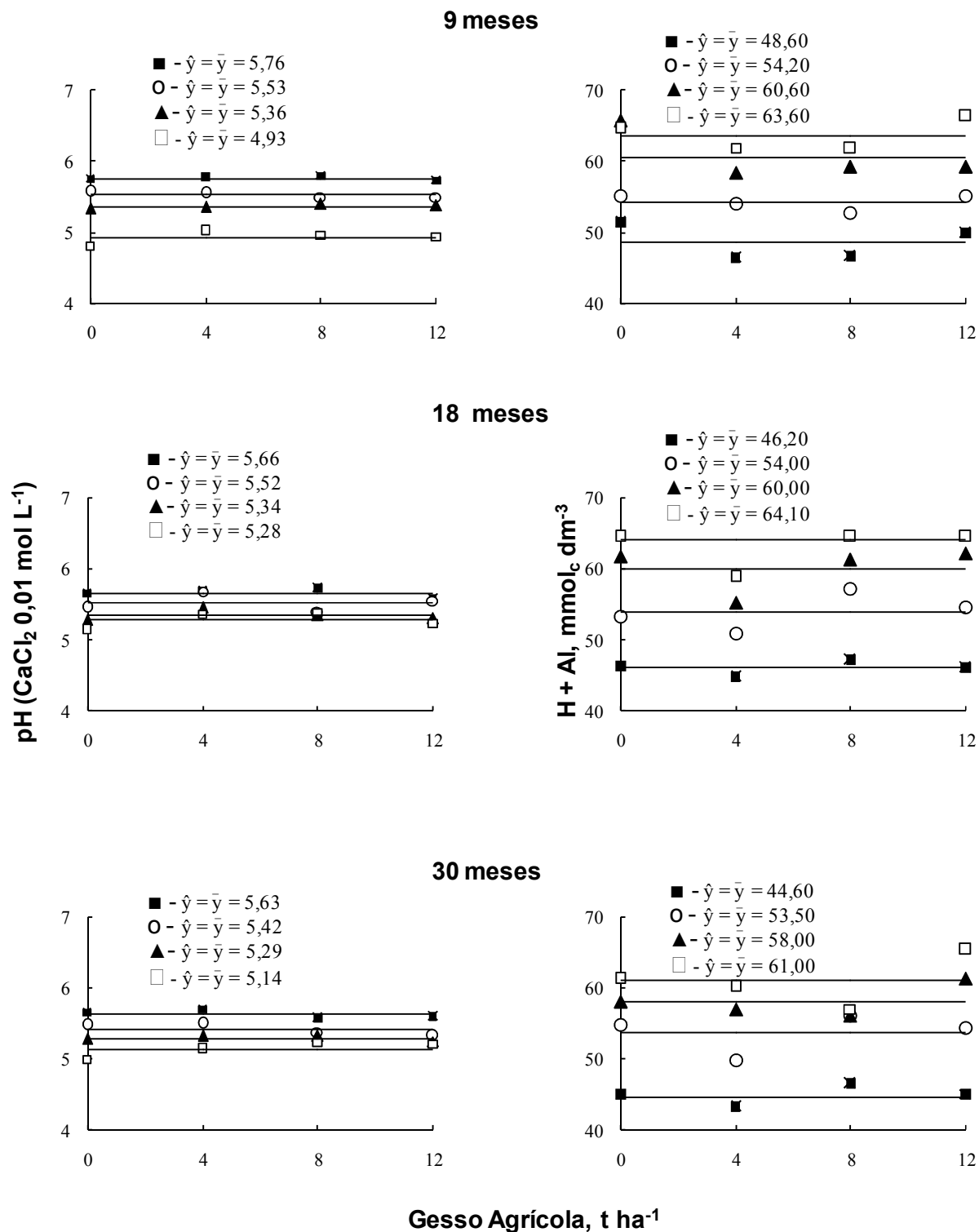
### **3.9. Análises Estatísticas**

Os resultados das análises químicas de solo, do tecido foliar e da avaliação da produção de grãos de milho e soja foram submetidos às análises de regressão polinomial. Ajustaram-se as equações de regressão de acordo com as doses de gesso, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação significativos a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos químicos do solo

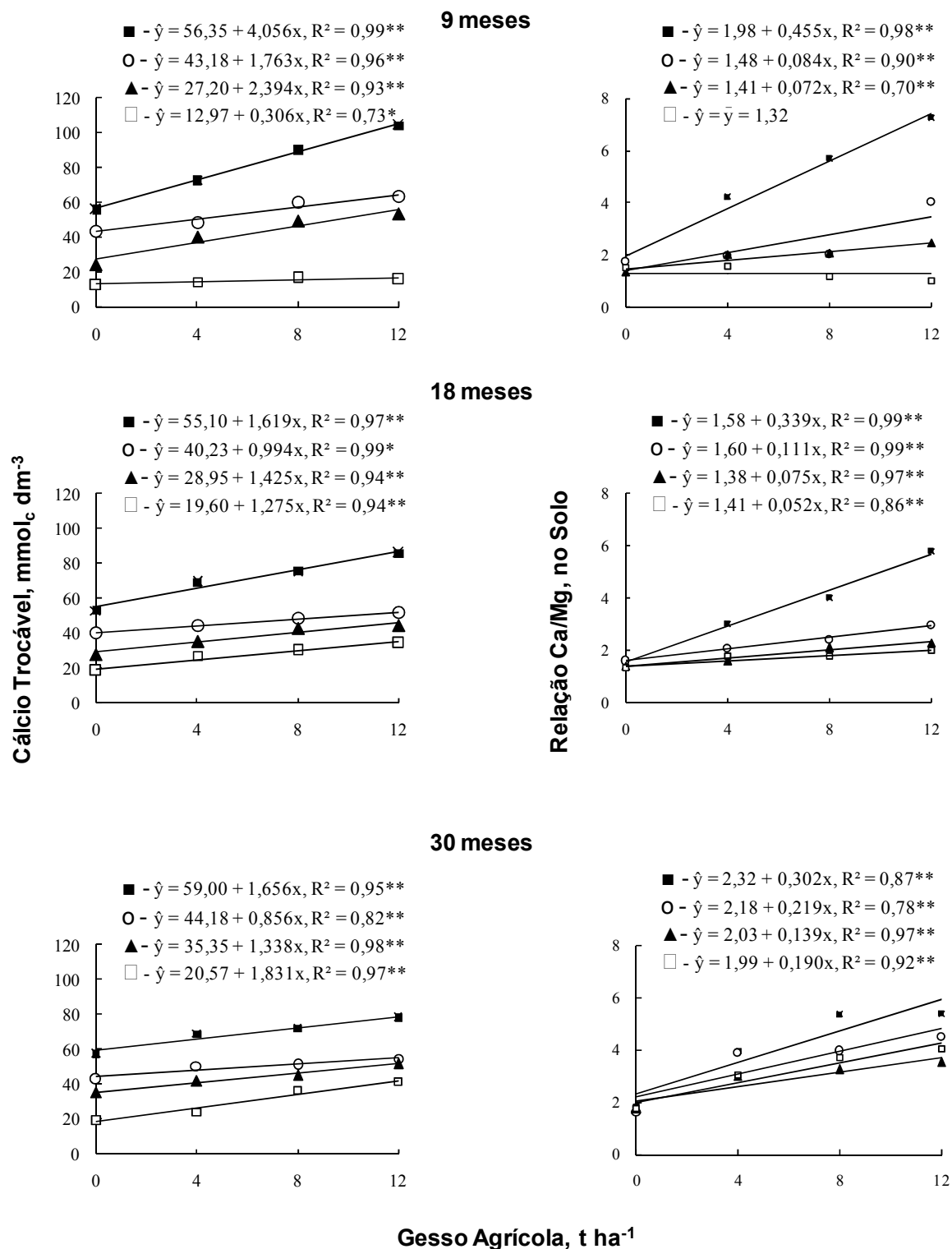
As doses de gesso agrícola aplicadas na superfície não influenciaram os valores de pH do solo ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>) e os teores de H + Al, nas quatro profundidades estudadas (0,0- 0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), após 9, 18 e 30 meses da aplicação (Figura 2). A ausência de efeito do gesso sobre a acidez do solo era esperada, considerando que o gesso agrícola é um sal neutro que não possui capacidade de consumir prótons H<sup>+</sup>. Mesmo assim, há vários estudos mostrando que a aplicação de gesso pode aumentar o pH nas camadas do subsolo (CAIRES et al., 2002b; 2003; CARVALHO; RAIJ, 1997), por causa de reação de troca de ligantes na superfície de óxidos de Fe e Al, com o S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> deslocando OH<sup>-</sup> e, assim, promovendo neutralização parcial da acidez do solo (REEVE; SUMNER, 1972), o que não aconteceu no presente trabalho. Cabe destacar que, no presente estudo, o solo apresentava baixa acidez e não tinha Al trocável em todo o perfil (0-60 cm).



**Figura 2.** Alterações no pH em  $\text{CaCl}_2$  e na acidez potencial ( $\text{H} + \text{Al}$ ) do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (○), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto.

As doses de gesso agrícola aplicadas na superfície aumentaram linearmente os teores de Ca trocável no solo, nas quatro profundidades estudadas (0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), após 9, 18 e 30 meses da aplicação (Figura 3). Nota-se que a adição de gesso proporcionou movimentação de Ca trocável no perfil do solo com o tempo, tendo ocorrido maior incremento no teor de Ca trocável da camada superficial do solo (0-0,10 m), após 9 meses, e da camada de solo mais profunda (0,40-0,60 m), após 30 meses. Resultados semelhantes a esses foram obtidos em outros trabalhos encontrados na literatura. Quaggio et al. (1993) observaram lixiviação de Ca trocável no solo, abaixo da camada de 0,40-0,60 m, após 18 meses da aplicação de 6 t ha<sup>-1</sup> de gesso em um Latossolo Vermelho-Escuro Podzólico. Caires et al. (2003) verificaram que a aplicação de gesso na superfície de um Latossolo Vermelho argiloso aumentou o teor de Ca trocável em todo o perfil do solo (0-0,60 m), sendo nítida a maior lixiviação do Ca<sup>2+</sup> com a aplicação de 9 t ha<sup>-1</sup> de gesso, após 32 meses. Em outro estudo, verificou-se que após 64 meses da aplicação de 12 t ha<sup>-1</sup> de gesso em um Latossolo Vermelho textura média, 80% do Ca trocável do solo foi absorvido pelas plantas e/ou lixiviado para profundidades maiores que 0,60 m (CAIRES et al., 2001b). No estado da Geórgia (EUA), Toma et al. (1999) verificaram que a aplicação de 35 t ha<sup>-1</sup> de gesso, em um solo argiloso caulínico, aumentou o teor de Ca trocável até a profundidade de 1,20 m, após 16 anos da aplicação.

As doses de gesso aplicadas na superfície aumentaram linearmente a relação Ca/Mg do solo, após 9, 18 e 30 meses, nas quatro profundidades estudadas (Figura 3), com exceção da camada mais profunda (0,40-0,60 m), após 9 meses. De acordo com as equações de regressão ajustadas, a maior dose de gesso (12 t ha<sup>-1</sup>) elevou a relação Ca/Mg do solo para 7,4 (0-0,10 m), 2,5 (0,10-0,20 m) e 2,3 (0,20-



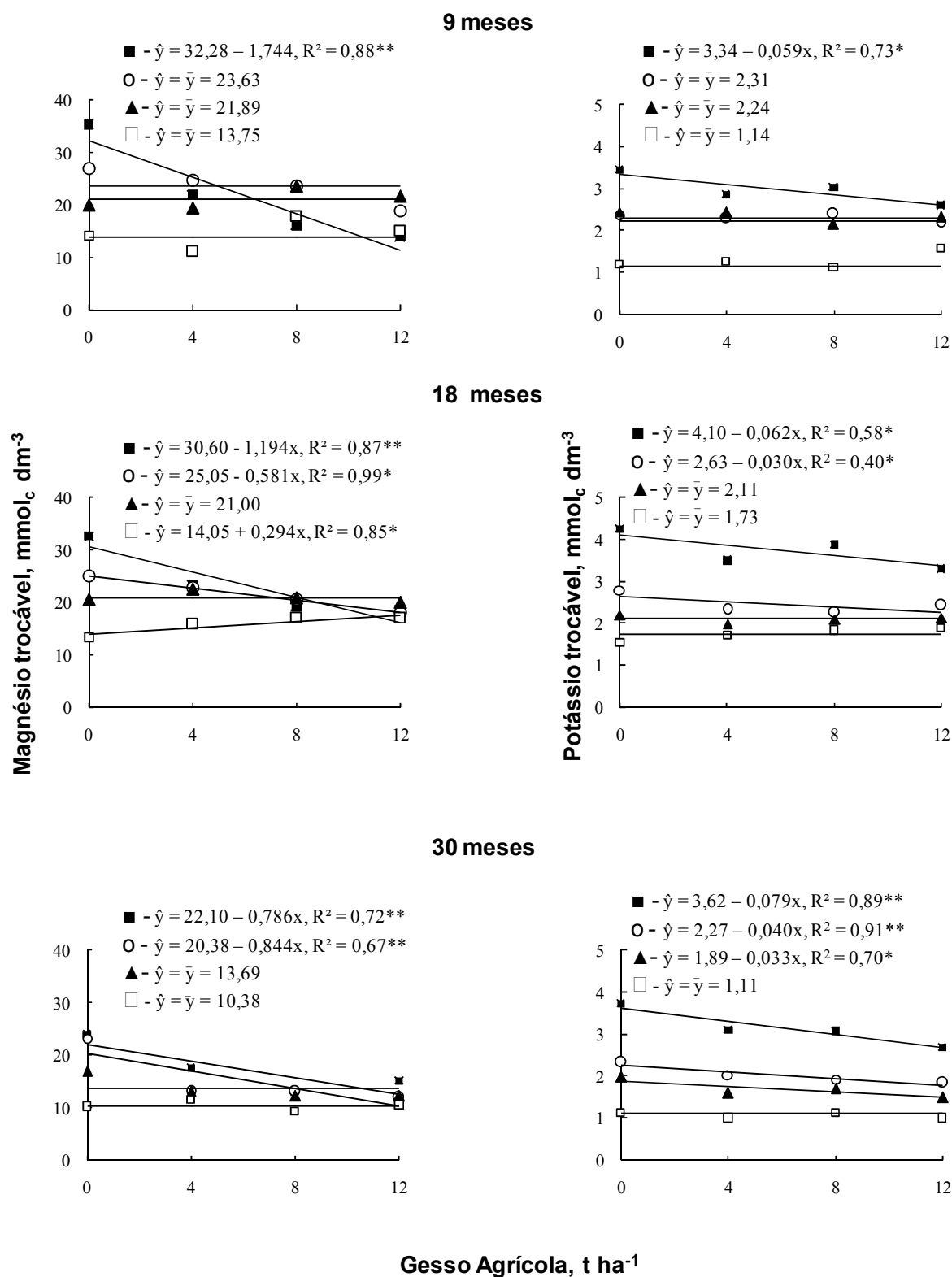
**Figura 3.** Alterações no teor de Ca trocável e na relação Ca/Mg do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (○), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

0,40 m), após 9 meses, para 5,6 (0-0,10 m), 2,9 (0,10-0,20 m), 2,3 (0,20-0,40 m) e 2,0 (0,40-0,60 m), após 18 meses e para 5,9 (0-0,10 m), 4,8 (0,10-0,20 m), 3,7 (0,20-0,40 m), 4,3 (0,40-0,60 m), após 30 meses da aplicação de gesso.

Os teores de Mg trocáveis no solo reduziram com as doses de gesso, nas camadas de 0,0-0,10 m, após 9 meses, e de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, após 18 e 30 meses (Figura 4). A lixiviação do  $Mg^{2+}$  trocável nas camadas mais superficiais do solo resultou em aumento do nutriente na camada de 0,40-0,60 m, após 18 meses da aplicação de gesso (Figura 4). Esse efeito no subsolo não foi mais observado após 30 meses da aplicação de gesso, mostrando que as doses de gesso proporcionaram movimentação de Mg trocável no perfil solo ao longo do tempo.

Resultados semelhantes a esses também foram observados em outros trabalhos (TOMA et al., 1999; FARINA, CHANNON e THIBAUD, 2000). No trabalho de Toma et al. (1999), houve movimentação do Mg trocável no solo da camada de 0,20-0,60 m para a camada de 1,0-1,20 m, após 16 anos da aplicação de gesso. No trabalho de Farina, Channon e Thibaud (2000), verificaram-se redução do Mg trocável no solo na camada 0-0,30 m e aumento do nutriente na camada de 0,30-0,75 m, após 10 anos da aplicação de gesso. A lixiviação do Mg trocável no solo com a adição de gesso é facilitada pela formação do par iônico  $MgSO_4^0$  e tem sido observada em vários estudos (CAIRES et al., 1999, 2003; TOMA et al., 1999). Caires et al. (1999) constataram que a movimentação de  $Mg^{2+}$  com a aplicação de gesso foi maior quando os teores de Mg trocáveis eram mais elevados no solo.

Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas devem ser desenvolvidas estratégias para minimizar as perdas de Mg trocável (CAIRES et al., 2003). Nesse caso, a correção da acidez do solo com calcário dolomítico pode ser



**Figura 4.** Alterações nos teores de Mg e K trocáveis do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (○), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em sistema plantio direto, \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

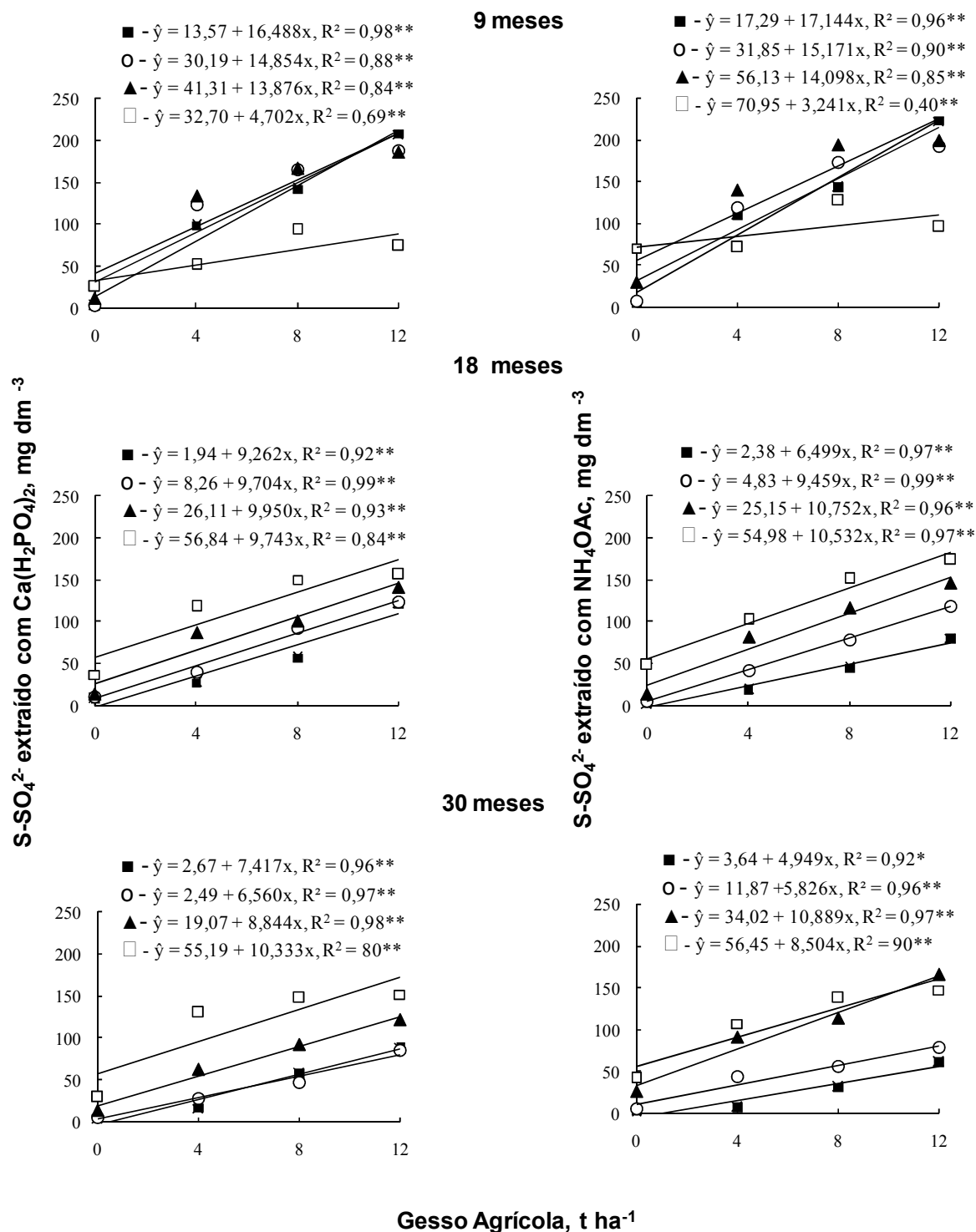


uma alternativa viável para minimizar o efeito das perdas de Mg trocável proporcionadas pelo uso de gesso.

O aumento na relação Ca/Mg do solo com a aplicação de gesso (Figura 3) foi favorecido, portanto, tanto pela elevação no teor de Ca trocável (Figura 3), como também pela redução no teor de Mg trocável (Figura 4) decorrente de sua lixiviação com o sulfato.

As doses de gesso reduziram os teores de  $K^+$  trocáveis no solo na camada de 0,0-0,10 m, após 9 meses, nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, após 18 meses e de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, após 30 meses (Figura 4). A lixiviação de K trocável com o uso de gesso encontrada no presente trabalho foi mais acentuada do que a observada em outros estudos (CAIRES et al., 2004, 2006). Isso pode ter acontecido porque o solo no presente estudo apresentava elevado teor de  $K^+$  trocável e baixa acidez no perfil. Mesmo com a lixiviação ocasionada pela aplicação de gesso, os teores de K trocável se mantiveram em níveis superiores a  $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  na camada de 0-0,10 m.

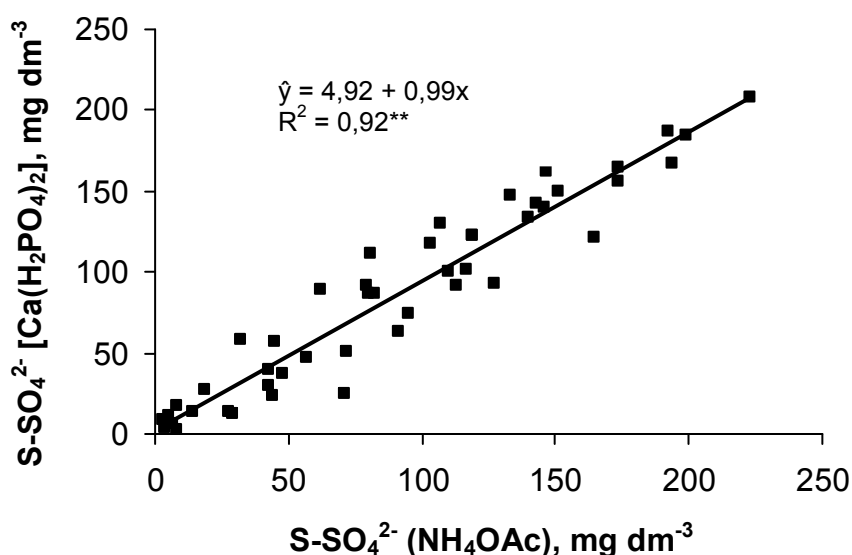
Os teores de sulfato no solo, extraídos com as soluções de fosfato de cálcio  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$  e de acetato de amônio em ácido acético ( $\text{NH}_4\text{OAc}$ ), aumentaram significativamente, nas quatro profundidades estudadas, após 9, 18 e 30 meses da aplicação de gesso (Figura 5). Os resultados mostraram grande movimentação de sulfato do gesso, das camadas superficiais para o subsolo, ao longo do tempo. A elevada movimentação do sulfato no perfil do solo deve ter sido ocasionada pelas condições de baixa acidez e alta concentração de carbono orgânico, somadas às concentrações mais elevadas de P, especialmente nas camadas mais superficiais



**Figura 5.** Alterações nos teores de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do solo, extraídos com as soluções de fosfato de cálcio [Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] e de acetato de amônio em ácido acético (NH<sub>4</sub>OAc), nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (○), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ .

do solo (Tabela 1). A menor adsorção de sulfato nessas condições facilita a sua movimentação para as camadas do subsolo (CAMARGO; RAIJ, 1989; NOGUEIRA; MELO, 2003). Toma et al. (1999) observavam aumento de sulfato em profundidade, mesmo após 16 anos da aplicação de gesso. Caires et al. (2003) verificaram pouca movimentação do sulfato no perfil do solo com aplicação de gesso após 8 meses e intensa movimentação de sulfato das camadas superficiais para o subsolo, após 32 meses. A velocidade com que o sulfato do gesso se movimenta pode ser variável em diferentes solos e depende da intensidade de chuvas após a aplicação (CAIRES et al., 1999; 2003; QUAGGIO et al., 1993).

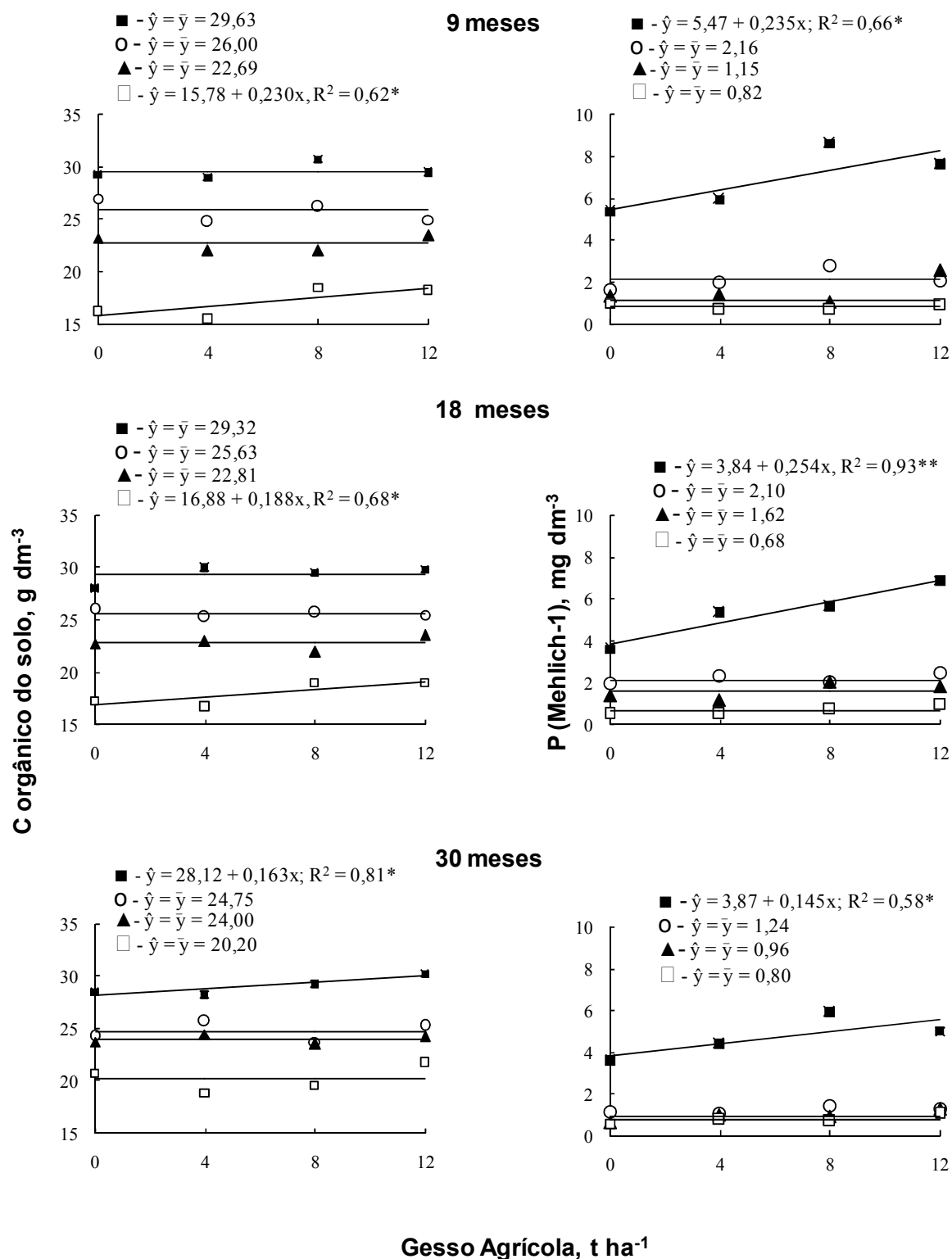
Na figura 6 é mostrada a correlação obtida entre os teores de  $S-SO_4^{2-}$  extraídos com as soluções de fosfato de cálcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e de acetato de amônio  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ . Nota-se que os teores de sulfato no solo foram semelhantes para os dois procedimentos de extração utilizados. Isso deve ter



**Figura 6.** Correlação entre os teores de sulfato no solo (0–0,60 m) extraídos com as soluções de fosfato de cálcio  $0,01 \text{ mol L}^{-1}$   $[Ca(H_2PO_4)_2]$  e de acetato de amônio  $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  em ácido acético  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  ( $NH_4OAc$ ), após 9, 18 e 30 meses da aplicação de gesso agrícola. \*\*:  $p < 0,01$ .

acontecido porque, no presente trabalho, o solo tinha altos teores de argila e de C orgânico (Tabela 1). Segundo Fox, Olson e Rhoades (1964), a solução de fosfato de cálcio extrai mais o S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> adsorvido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio do que o sulfato ligado à fração orgânica do solo, enquanto que a solução de acetato de amônio em ácido acético extrai o sulfato solúvel, o adsorvido e parte do S ligado à fração orgânica. Ribeiro et al. (2001) verificaram que em solos com alta capacidade de adsorção de sulfato, o enxofre extraído, tanto com a solução de fosfato de cálcio como com a de acetato de amônio em ácido acético, apresentou boa correlação com a absorção de S pelas plantas.

Os teores de C orgânico do solo e de P (Mehlich-1) estão apresentados na figura 7. As doses de gesso aumentaram o teor de C orgânico do solo na camada de 0,40-0,60 m, após 9 e 18 meses, e na camada de 0-0,10 m, após 30 meses. Tais efeitos do gesso sobre o C orgânico não eram esperados e são difíceis de serem explicados, especialmente na camada do subsolo (0,40-0,60 m). É possível que um maior aporte de massa de resíduos da parte aérea e das raízes das plantas de cobertura tenham contribuído para incrementar C orgânico no solo com o uso de gesso. Os teores de P (Mehlich-1) do solo aumentaram linearmente, na camada de 0-0,10 m, com as doses de gesso, após 9, 18 e 30 meses da aplicação. Aumento de P na camada superficial do solo com a aplicação de gesso também foi observado por Caires et al. (2003), em razão da presença de resíduos de P na composição do gesso agrícola.



**Figura 7.** Alterações nos teores de C orgânico e de P (Mehlich-1) do solo, nas profundidades de 0-0,10 m (■), 0,10-0,20 m (○), 0,20-0,40 m (▲) e 0,40-0,60 m (□), após 9, 18 e 30 meses da aplicação superficial de gesso em plantio direto. \*:  $p < 0,05$  e \*\*:  $p < 0,01$ ..

#### 4.2 Nutrição mineral das plantas de milho (2005-2006) e soja (2007-2008)

As doses de gesso aplicadas na superfície aumentaram linearmente a concentração de P e S nas folhas de milho (Tabela 2). Os teores de N, K, Ca e Mg nas folhas de milho não foram alterados com a aplicação de gesso. A elevação da concentração de P no tecido foliar do milho foi ocasionada pelo aumento de P (Mehlich-1) na camada superficial do solo. Caires et al. (2003) verificaram que as doses de gesso em plantio direto também aumentaram o teor de P no solo resultando em maior concentração de P no tecido foliar da soja. Apesar do P ser encontrado em baixa concentração no gesso agrícola, ele é considerado uma impureza importante porque o emprego de doses elevadas de gesso pode melhorar a nutrição de P pelas plantas (CAIRES et al., 2003; SUMNER et al., 1986).

O aumento na concentração de S no tecido foliar do milho deve ter sido ocasionado pelo aumento de  $S-SO_4^{2-}$  disponível no solo com a adição de gesso (Figura 5). Caires et al. (2004) verificaram aumento nas concentrações de N, K e Ca no tecido foliar do milho com a aplicação de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico sob SPD e não verificaram alteração na concentração de S no tecido foliar do milho, o que pode ter sido consequência de maior absorção de sulfato do subsolo, uma vez que a concentração de S era baixa na camada superficial do solo.

A ausência de efeito da aplicação de gesso no teor de Ca no tecido foliar do milho (Tabela 2) deve ter sido por causa do elevado teor de Ca trocável que o solo apresentava em todo o perfil (Figura 3). Destaca-se que a redução nos teores de Mg e K trocáveis ocorrida no solo com a aplicação de gesso (Figura 4) não influenciou as concentrações de Mg e K nas folhas de milho (Tabela 2). Isso porque, apesar da movimentação de  $Mg^{2+}$  e  $K^+$  no perfil do solo ocasionada pela aplicação de

**Tabela 2.** Concentração de nutrientes nas folhas de milho (2005-2006) e soja (2007-2008), considerando a aplicação de gesso na superfície em sistema plantio direto.

<b>Gesso</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	----- g kg <sup>-1</sup> -----					
	<b>Milho (2005-2006)</b>					
<b>0</b>	26,5	1,6	27,1	5,1	6,6	2,1
<b>4</b>	26,2	1,6	26,6	5,7	6,7	2,5
<b>8</b>	28,2	1,9	26,8	6,0	6,4	3,2
<b>12</b>	27,7	1,9	25,9	5,7	6,4	3,1
<b>Efeito</b>	ns	L**	ns	ns	ns	L**
<b>C.V. (%)</b>	8,6	10,6	9,0	17,8	7,6	14,5
	<b>Soja (2007-2008)</b>					
<b>0</b>	54,6	2,5	15,6	7,8	3,4	2,8
<b>4</b>	54,3	2,5	16,4	7,5	3,2	3,1
<b>8</b>	56,5	2,7	16,8	7,3	3,5	3,2
<b>12</b>	55,7	2,6	17,2	7,1	3,4	2,6
<b>Efeito</b>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<b>C.V. (%)</b>	9,9	13,4	11,7	16,2	23,8	17,8

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

gesso, os teores de Mg e K trocáveis no solo se mantiveram em níveis suficientes para atender a demanda da cultura do milho (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

As concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas de soja, cultivada em 2007-08, não foram alteradas com a aplicação de gesso (Tabela 2). Resultados diferentes foram obtidos por Caires et al. (2003), os quais verificaram aumento de Ca, P e S, e redução de Mg no tecido foliar da soja com o uso de gesso. Nogueira e Melo (2003) também observaram aumento na concentração de S nas folhas de soja, no segundo ano de avaliação, com a aplicação de gesso. Os diferentes resultados na nutrição da soja obtidos em outros trabalhos em decorrência da aplicação de gesso (CAIRES et al., 2003; NOGUEIRA; MELO, 2003) devem estar relacionados com as alterações que foram proporcionadas nos teores disponíveis dos nutrientes nos solos estudados. Cabe destacar, no presente trabalho, que a aplicação de gesso aumentou a concentração de P e de S nas folhas de milho, em 2005-06, mas não alterou a concentração de nutrientes nas folhas de soja, em 2007-08 (Tabela 2). A concentração de S na parte aérea da aveia preta, cultivada em 2007, também foi

aumentada significativamente de 2,1 para 3,5 g kg<sup>-1</sup> com a maior dose de gesso aplicada (12 t ha<sup>-1</sup>). Soratto e Crusciol (2008) também verificaram maior absorção de S pela aveia preta com a aplicação de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho distroférico textura média, no município de Botucatu (SP). Isso demonstra que as gramíneas, como o milho e a aveia, apresentam respostas diferenciadas da soja na nutrição de S com o aumento do teor de sulfato no solo.

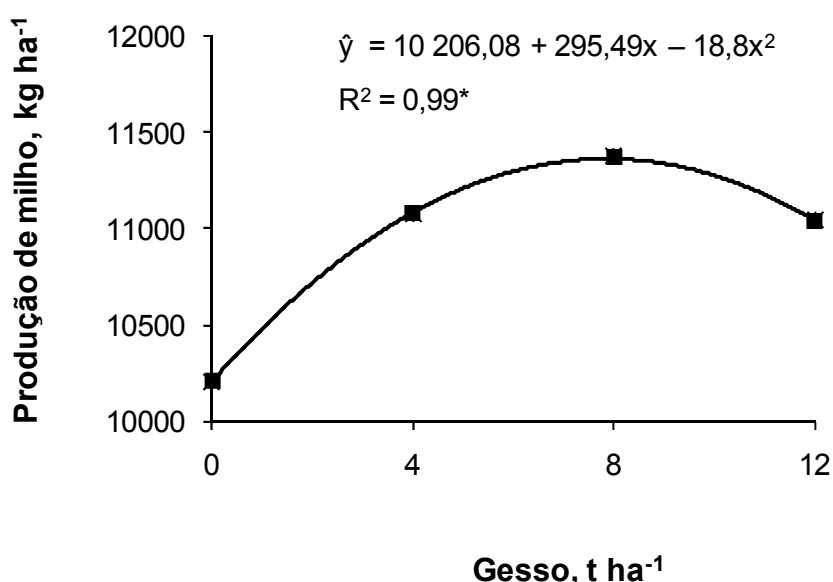
#### **4.3. Produção de grãos de milho e soja**

A produção de grãos de milho aumentou de forma quadrática com as doses de gesso aplicadas na superfície (Figura 8). A máxima eficiência técnica (MET) foi obtida com a dose de 7,8 t ha<sup>-1</sup> de gesso, ocasionando um aumento da ordem de 11% no rendimento de grãos. Vários trabalhos demonstraram respostas positivas da aplicação de gesso na produção de milho (CAIRES et al., 1999, 2004; FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; RAIJ et al., 1998; TOMA et al., 1999).

As alterações que a aplicação de gesso proporciona no solo são complexas e seus efeitos sobre as plantas são difíceis de serem isolados. A produção de grãos de milho esteve relacionada de forma positiva (Tabela 3) com o teor de P (Mehlich-1) (0-0,10 m), com o teor de Ca<sup>2+</sup> trocável (0,20-0,40 m), com a relação de Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> (0-0,40 m) e com o teor de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> do solo extraído com fosfato de cálcio (0,10-0,40 m) e acetato de amônio em ácido acético (0-0,60 m). A redução do Mg trocável na camada superficial do solo (0-0,10 m), proporcionada pela adição de gesso, também contribuiu para aumentar a produção de milho, provavelmente em razão da melhoria na nutrição de Ca e K (CAIRES et al., 2002). O fato de a diagnose foliar da cultura do milho não ter revelado alterações nos teores de cátions (Tabela 2) pode ter sido consequência do efeito de diluição desses nutrientes no tecido foliar das



plantas. O aumento no teor de P (Mehlich-1) na camada superficial e da relação do Ca/Mg acompanhado pela redução do Mg trocável no solo, bem como o aumento de sulfato no perfil do solo, devem ter sido os fatores que mais contribuíram para o aumento na produção de milho com a aplicação de gesso. Caires et al. (2004) verificaram incrementos na produção de grãos de milho com o uso de gesso em plantio direto, não somente devido à melhoria das condições químicas do subsolo, mas também ao aumento de Ca trocável e de  $S-SO_4^{2-}$  disponível nas camadas superficiais do solo.



**Figura 8.** Produção de grãos de milho no ano agrícola de 2005-2006, em função das doses de gesso agrícola na superfície, em plantio direto. \*:  $p < 0,05$ .

Vários trabalhos relataram aumentos na produção de grãos de milho, mesmo após longo período da aplicação de gesso (FARINA; CHANNON; THIBAUD, 2000; TOMA et al., 1999). Farina, Channon e Thibaud (2000) verificaram aumento na produção de milho após 10 anos da aplicação de gesso em um Ultissol da África do Sul. Toma et al. (1999) obtiveram aumento na produção de milho após 16 anos da aplicação de gesso, em um Ultissol da Georgia (EUA).

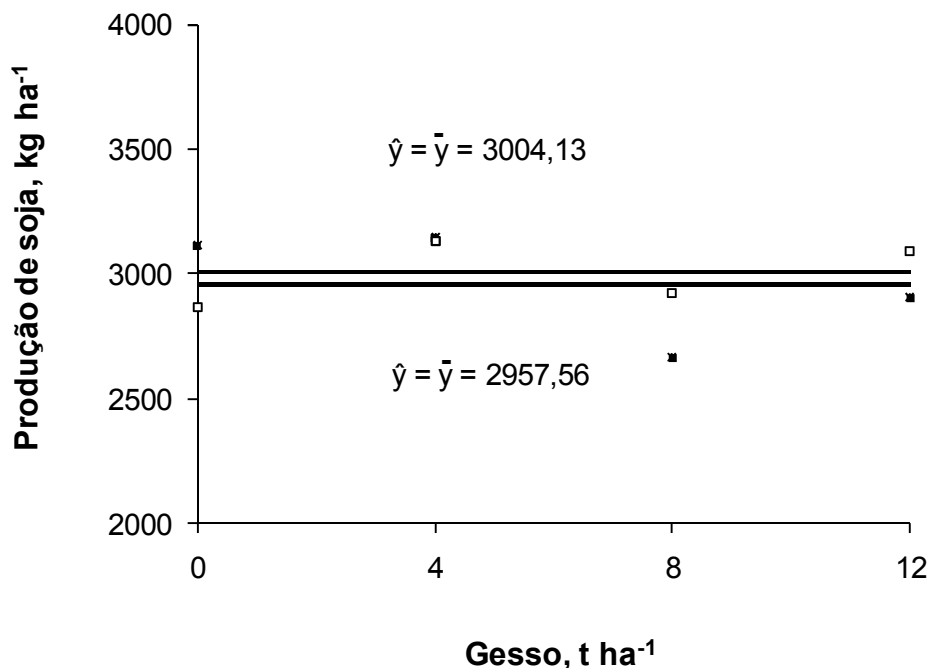
**Tabela 3.** Coeficientes de correlação linear entre os teores de Ca, Mg, K trocáveis e a relação Ca/Mg, em diferentes profundidades do solo, e a produção de grãos de milho cultivado em sistema de plantio direto.

Profundidade (m)	Ca trocável	Mg trocável	K trocável	P (Mehlich-1)	Relação Ca/Mg	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
						NH <sub>4</sub> OAc	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
0-0,10	0,42 ns	-0,52*	-0,36 ns	0,64**	0,52*	0,52*	0,48 ns
0,10-0,20	0,40 ns	-0,47 ns	0,17 ns	0,17 ns	0,50*	0,54*	0,54*
0,20-0,40	0,61*	-0,04 ns	-0,44 ns	0,21 ns	0,63*	0,57*	0,51*
0-40-0,60	0,35 ns	0,01 ns	0,20 ns	0,06 ns	-0,18 ns	0,53*	0,49 ns

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

A produção de grãos de soja, nos dois cultivos (2006-2007 e 2007-2008), não foi alterada significativamente com a aplicação de gesso (Figura 9). Em vários outros estudos também não foi observada resposta da cultura da soja à aplicação do gesso (CAIRES et al., 1999, 2003, 2006; NOGUEIRA; MELO, 2003, QUAGGIO et al., 1993). Mesmo assim, o uso de gesso pode ocasionar melhoria na qualidade da soja por meio de aumento nas concentrações de proteína e de P, K, Ca e S nos grãos (CAIRES et al., 2006).

A ausência de resposta da soja ao uso de gesso em plantio direto tem sido atribuída ao fato de o crescimento do sistema radicular da cultura, na ausência de déficit hídrico, não ser influenciado pela redução na saturação por Al<sup>3+</sup> em camadas do subsolo (CAIRES et al., 2001b). Essa argumentação não cabe ao presente estudo porque o solo utilizado apresentava condições químicas favoráveis ao crescimento radicular (alto teor de Ca e ausência de Al trocável) em todo o perfil (0-0,60 m).



**Figura 9.** Produção de grãos de soja nos anos agrícolas de 2006-2007 (□) e 2007-2008 (■), em função das doses de gesso agrícola na superfície, em plantio direto.

Caires et al. (1999) descrevem experimento em que a aplicação de gesso aumentou a produção de milho, mas não de soja, conforme também observado no presente estudo. A capacidade de troca de cátions das raízes (CTCr) é mais baixa em plantas gramíneas do que em leguminosas (ASHER; OZANNE 1961). Para gramíneas, tais como milho, trigo e arroz, a CTCr varia de 100 a 200 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de raízes secas, enquanto para leguminosas, tais como, soja e feijão, a CTCr varia de 400 a 800 mmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de raízes secas (FERNANDES; SOUZA, 2006). Williams e Coleman (1950) verificaram que a CTCr foi duas vezes maior em soja do que em milho. As raízes com maior capacidade de troca de cátions são capazes de acumular mais íons bivalentes, enquanto as raízes com menor capacidade de troca de cátions absorvem mais íons monovalentes (WALLACE; SMITH, 1955 citados por BROYER; STOUT, 1959). Sendo assim, as plantas de milho devem ser menos eficientes do que as plantas de soja na absorção de Ca<sup>2+</sup> e de S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> da solução

do solo. Isso explica as respostas diferenciadas das culturas de milho (Figura 8) e soja (Figura 9) à aplicação de gesso, em solo de baixa acidez em subsuperfície no SPD (Tabela 1).

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação superficial de gesso em solo argiloso com alto teor de carbono orgânico e baixa acidez em subsuperfície sob plantio direto aumentou o teor de P (Mehlich-1) na superfície do solo e os teores de Ca trocável e de sulfato disponível e a relação Ca/Mg do solo nas camadas superficiais e do subsolo.

A aplicação de gesso na superfície aumentou a produção de grãos de milho cultivado em plantio direto, em decorrência do aumento na disponibilidade de P e S, da redução do Mg trocável na camada superficial do solo e do aumento da relação Ca/Mg nas camadas superficiais e do subsolo.

A nutrição e a produção de grãos de soja cultivada em plantio direto não foram alteradas com a aplicação de gesso na superfície.

A aplicação superficial de gesso demonstrou ser uma prática eficiente para maximizar a produção de milho, mesmo em solo com alta fertilidade e baixa acidez em subsuperfície no sistema plantio direto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHER, C.J.; OZANNE, P.G. The cation exchange capacity of plant roots, and its relationship to the uptake of insoluble nutrients. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.12, p.755–766, 1961.

BREENAN, R.F.; BOLLAND, M.D.A.; WALTON, G.H. Comparing the calcium requirements of wheat and canola. **Journal of Plant Nutrition**, v.30, p.1167-1184, 2007.

BROYER, T.C.; STOUT, P.R. The macronutrient elements. **Annual Review of Plant Physiology**, v.10, p.277–300, 1959.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas no solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, v.63, p.370- 379, 2006.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agricola**, v.59, p. 357-364, 2002b.

CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p.213-223, 2001a.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1029-1040, 2001b.

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

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J.; PADILHA, J.M.; Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.28, n.1, p.125-136, 2004.

CAMARGO, O.A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.13, p. 275-280, 1989.

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

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, E.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 225-230, 2001.

CARVALHO, M.C.S.; RAIJ, B. van. Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth. **Plant and Soil**, v.192, p.37-48, 1997.

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

CHAVES, J.C.D.; PAVAN, M.A.; IGHE, K. Respostas do cafeeiro à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.573-582, 1984.

CHURKA, S. Atributos químicos de uma latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola. Ponta Grossa, 2007. 74p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

DERPSCH, R. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: Implications and impact. World Congress on Conservation Agriculture, III, Nairobi, Kenya, 2005. **Proceedings**, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA . Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, nov. 2001.

FARINA, M.P.W.; CHANNON, P.; THIBAUD, G.R. A comparison of strategies for amelioration subsoil acidity: I Long-term growth effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 646-651, 2000.

FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: *Nutrição Mineral de Plantas*, 115–153, FERNANDES, M.S. (Ed.) Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

FOX, R.L.; OLSON, R.A.; RHOADES, H.F. Evaluating the sulfur status of soil by plant and soil test. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.28, p.243-246, 1964.

GARBUIO, F.J. Alterações químicas do solo, nutrição, produção e qualidade de grãos de milho em função da aplicação de gesso em sistema plantio direto. Ponta Grossa, 2006. 71p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Ponta Grossa.

INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ - IAPAR. Dados médios mensais de precipitação pluvial e de temperatura máxima e mínima do ar, ocorridas durante o período de realização do experimento (maio/2005 a abril/2008), em Guarapuava, PR, 2009.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafós, 2 ed., 1997. 319p.

NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.655-663, 2003.

NUENBERG, N.J.; RECH, T. D.; BASSO, C. Usos do gesso agrícola. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2004. Boletim Técnico, nº 122.

OATES, K.M.; CALDWELL, A.G. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**. v.49, p. 915-918, 1985.

PAOLINELLI, M.T.; OLIVEIRA, P.M.; SANTOS, P.R.S.; LEANDRO, V.P.; MORAES, W.W. Aplicação direta do fosfogesso. In: I SEMINÁRIO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. Anais... p.197-207, 1986.

PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPULSKI, H.C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D.C. **Manual de análise química do solo**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 1992. 33p.

PAVAN, M. A.; OLIVEIRA, E. L. **Manejo da acidez do solo**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1997. 86 p. (Circular, 95).

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. Van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H. A. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.3, p.375-383, 1993.



RAIJ, B. Van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo, ANDA, 1988. 88p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. Van.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; PENTTINELLI, J. R. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.188-198, 1998.

REEVE, N. G.; SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. **Agrochemophysica**, v.4, p.1-6, 1972.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSORIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p.562-569, 2005.

RIBEIRO, E.S.; DIAS, L.E.; ALVAREZ, V.H., MELLO, J.W.V.; DANIELS, W.L. Dynamics of sulfur fractions in brazilian soils submitted to consecutive harvest of sorghum. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.787-794, 2001.

RITCHEY, K.D.; SILVA, J.E.; COSTA, U.F. Calcium deficiency in clayey B horizons of savanna oxisols. **Soil Science**, v.133, p.378-382, 1982.

SAWYER, J.E.; BARKER, D. W. Sulfur application to corn and soybean crops in Iowa, Integrated Crop Management Conference, Iowa State University, Ames, December 4 and 5, 2002.

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

SHARMA, S.N.; PIRI, I.; PRASAD, R.; DAVARI, M.R.; KUMAR, D.; SHIVAY, Y.S. Relative efficiency of sources of sulfur at varying rate of its application to wheat and rapeseed. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.53, p.103-112, 2007.

SORATTO, R.P; CRUSCIOL, C.A.C. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes pela aveia-preta em função da aplicação de calcário e gesso em superfície na implantação do sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.4, p. 928-935, 2008.

SOUSA, D.M.G; RITCHEY, K.D.; Uso do gesso no solo de cerrado. Resposta de culturas anuais e leucena a gesso no cerrado. In: I SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA. Brasília, 1986. Anais... Brasília, EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Amelioration of an acid soil prolife throug deep liming an surface aplication of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.1254-1278, 1986.

TOMA, M.; SUMNER, M.E.; WEEKS, G.; SAIGUSA, M. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.39, p.891-895, 1999.

VITTI, G.C. Uso eficiente do gesso agrícola na agropecuária. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2000. 30p

VITTI, G. C.; SUZUKI, J.A. **A determinação do enxofre - sulfato pelo método turbidimétrico**. Jaboticabal: Universidade Estadual de São Paulo, 1978, 13p.

WILLIAMS, D.E.; COLEMAN, N.T. Cation exchange properties of plant root surfaces. **Plant and Soil**, v.2, p.243–256, 1950.

ZAMBROSI, F.C.B.; ALLEONI, L.R.F.; CAIRES, E.F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.37, p.110-117, 2007.