

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA NA REGIÃO DO
SUDOESTE DE GOIÁS**

Lucimeire Neis
Engenheira Agrônoma

Jataí (GO) Brasil
Março, 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO E PRODUTIVIDADE DE SOJA NA REGIÃO DO
SUDOESTE DE GOIÁS**

Lucimeire Neis

Orientador: Prof.º Dr. Helder Barbosa Paulino

Co-orientador: Prof.º Dr. Edicarlos Damacena de Souza

Exame de qualificação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

Jataí (GO) Brasil
Março, 2009

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ..."

Martin Luther King

A minha família, meus pais Tarcísio e
Isoldi e meus irmãos Solange, Aline,
Marcos, Felipe e Emanuele,
que sempre me incentivaram.
A Helder por todo apoio e suporte
para realização desse sonho.
A vocês, DEDICO esse trabalho.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e sempre, quero agradecer à Fonte da vida – Deus.

Em segundo, aos meus mentores espirituais.

Em terceiro, as pessoas que exerceram influências profundas e significativas em minha vida; compartilharam comigo sua sabedoria, contaram-me as suas verdades, suportaram minhas falhas e fraquezas com uma paciência infinita e me enxergaram através delas, vendo o melhor e me fizeram crescer.

Além de meus pais e irmãos, as pessoas que me apoiaram desse modo incluem Helder, Edicarlos, Priscila, Hélia Cristina, Cláudia Adriana e Denise. Sinto muita gratidão por tudo que fizeram por mim. Não podia deixar de mencionar o estímulo, que você, meu querido Mauricio, me proporcionou na finalização desse trabalho.

Em quarto, quero agradecer aos que me auxiliaram direta ou indiretamente na realização deste trabalho, aos professores: Dr. Marco Aurélio, Dr. Hamilton, Dr. Edésio; aos estagiários: Paula Camila, Carolina, Tiago, Marcelo, Flávio, Eloene, Lucas e Elias; aos funcionários: Cleumar, Marcos Humberto e Sueli.

Em quinto, agradeço ao Dr. Ibanor Anghinoni, pela disponibilidade em participar da banca de defesa dessa dissertação.

Em sexto, quero mencionar algumas pessoas que não conheci, mas cujas vidas e obras tiveram tamanho impacto sobre meu modo de pensar que não posso deixar passar esta oportunidade sem agradecer-lhes do fundo de minha alma pelos momentos de grande prazer que me proporcionaram.

Agradeço a todos que me fizeram sentir e não apenas saber o que é verdadeiro.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Gessagem.....	3
2.2 Sistemas de Preparo do Solo.....	9
2.2.1 Sistemas de Preparo do Solo e suas Características Químicas.....	9
2.2.2 Sistemas de Preparo do Solo e a Cultura da Soja.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Teores de Cálcio Trocável.....	17
4.2 Teores de Magnésio Trocável.....	21
4.3 Teores de Potássio Trocável.....	25
4.4 Capacidade de Troca de Cátions Efetiva do Solo.....	28
4.5 Teores de Sulfato.....	31
4.6 Produtividade da Soja.....	34
4.7 Correlação dos Nutrientes Avaliados e da Produtividade da Soja.....	36
5. CONCLUSÕES	4
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
ANEXO	49

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização química e granulométrica de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em quatro diferentes camadas, no Município de Serranópolis-GO.....	14
Tabela 2. Análise de variância para os teores de Ca^{2+} no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das camadas de solo.....	17
Tabela 3. Análise de variância para os teores de Mg^{2+} no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.....	22
Tabela 4. Análise de variância para os teores de K^+ no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.....	25
Tabela 5. Análise de variância para os valores de CTC no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.....	28
Tabela 6. Análise de variância para os teores de S-SO_4^{2-} no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.....	31
Tabela 7. Análise de variância para produtividade de grãos de soja, em função das doses de gesso e manejos adotados.....	34
Tabela 8. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 0-5 cm.....	36
Tabela 9. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 5-10 cm.....	38
Tabela 10. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 10-20 cm.....	38
Tabela 11. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 20-40 cm.....	39

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação acumulada (mm), a cada dez dias, iniciando no dia 01/10/2007, ocorrida durante a condução da cultura da soja, no ano agrícola de 2007/2008, na área do experimento.....	14
Figura 2. Teores de Ca^{2+} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b)..	18
Figura 3. Teores de Ca^{2+} em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).....	20
Figura 4. Teores de Mg^{2+} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b)..	23
Figura 5. Teores de Mg^{2+} em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).....	24
Figura 6. Teores de K^{+} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).....	26
Figura 7. Teores de K^{+} em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).....	27
Figura 8. Capacidade de troca de cátions efetiva em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).....	29
Figura 9. Capacidade de troca de cátions efetiva em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).....	30
Figura 10. Teores de S-SO_4^{2-} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b)..	32
Figura 11. Teores de S-SO_4^{2-} em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1	33

Mg ha⁻¹ (b), 2 Mg ha⁻¹ (c), 4 Mg ha⁻¹ (d) e 6 Mg ha⁻¹ (e).....

Figura 12. Produtividade de grãos de soja em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto e em sistema de plantio direto com revolvimento..... 35

ANEXO

Página

Anexo A. Tratamentos fitossanitários realizados durante a condução da cultura da soja, no ano agrícola de 2007/2008, no Sudoeste Goiano.....	49
--	----

GESSO AGRÍCOLA EM SISTEMAS DE MANEJO E PRODUTIVIDADE DE SOJA NA REGIÃO SUDOESTE DE GOIÁS

RESUMO – O sistema de plantio direto (PD) traz muitos benefícios físicos, químicos e biológicos para o solo, entretanto, alguns problemas surgem ao longo do tempo com a adoção deste sistema de manejo, como a compactação do solo, a acidez subsuperficial e a deficiência de cálcio em profundidade, que podem restringir o crescimento radicular das culturas. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹) em alguns atributos químicos em profundidade no solo e a produtividade da soja em área sob PD, sem e com revolvimento. O delineamento foi em blocos completos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. A área vinha sendo conduzida há vários anos em PD, sendo um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argilosa, no Sudoeste Goiano, onde os teores Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, CTC efetiva e S-SO₄²⁻ foram determinados nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. Observou-se que no PD sem revolvimento a maior concentração dos cátions e do sulfato ocorreu na camada de 0-5 cm, enquanto no PD com revolvimento o S-SO₄²⁻ se concentrou de 20-40 cm. A maior produtividade de grãos de soja ocorreu no PD sem revolvimento, porém as doses de gesso não influenciaram a mesma. As correlações entre os teores de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ em relação à produtividade de soja foram positivas no PD com revolvimento, nas quatro camadas amostradas. Portanto, em PD sem revolvimento, nas mesmas condições deste solo e sem restrição pluviométrica, não se espera incrementos em produtividade com a realização de revolvimento e a aplicação de gesso agrícola.

Palavras-chave: bases, cerrado, soja, sulfato.

GYPSUM IN MANAGEMENT SYSTEMS AND SOYBEAN PRODUCTIVITY IN SOUTHWEST REGION OF GOIÁS

ABSTRACT – No-tillage systems lead to physical, chemical and biological benefits for the soil. However, throughout time, in soils under this system, some problems appear, such as soil compaction, subsoil acidity and calcium deficiency in depth, which may restrict crops root growth. This study was carried out to evaluate the effect of gypsum rates (0, 1, 2, 4 e 6 Mg.ha⁻¹) on some chemical attributes in the soil's depth and in soybean yield in area under long-term no-till, with and without tillage. A complete randomized block scheme with a split-split-plot design with four replicates was used. The area has been conducted under no-till for several years in a dystrophic Clay Red-Yellow Latosol, in southwestern Goias, where calcium, magnesium, potassium and sulphate contents and cation exchange capacity were determined in the 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm layers. A higher concentration of cations and sulphate was observed in the 0-5 cm layer under no-tillage without revolving while the no-tillage with revolving, the sulphate concentrated in the 20-40 cm layer. Although soybean yields were higher under no-till without revolving they were not affected by gypsum rates. The correlations between the levels of exchangeable calcium and sulphate regarding soybean yields were positive for in all four layers under no-tillage with revolving. Therefore, under no-tillage without revolving, in the same conditions as for the present study, and without rainfall restrictions, yield gains are not resulted by either soil tilling or gypsum applications.

Key words: bases, savannah, soybean, sulphate.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (PD) foi introduzido no Cerrado na década de 1980, fato importante, pois atende a maior fronteira agrícola do país. O fundamento desse sistema de plantio é que há o mínimo de revolvimento do solo, ocorrendo somente na linha de semeadura. Assim, não se tem a incorporação de calcário e de fertilizantes, o que resulta em dúvidas quanto ao manejo da fertilidade do solo, à distribuição dos nutrientes no perfil do solo, à formação de camadas compactadas e, conseqüentemente, ao crescimento radicular das culturas (Sousa & Lobato, 2004).

Tem-se observado que áreas onde se utiliza de PD por longo período de tempo, mesmo com pH abaixo da faixa considerada ideal, saturação por alumínio elevada, teores de alumínio trocável considerados inadequados, saturação por bases inferior aos níveis adequados, vem apresentando altos rendimentos de grãos, demonstrando a necessidade de se aprofundar os estudos com relação a fertilidade de solos sob este sistema de manejo (Nicolodi et al., 2008).

Em solos de cerrado, a toxidez por alumínio e/ou a deficiência de cálcio e de outros nutrientes, tanto na camada superficial quanto na subsuperficial, pode limitar o crescimento do sistema radicular das plantas, representando risco de redução nas produções de grãos. O revolvimento do solo, apesar de ser uma alternativa para melhoria do ambiente radicular, nem sempre pode ser adotada pelos produtores devido à inexistência de equipamentos apropriados, ao alto custo de energia, à necessidade de agilidade na semeadura, principalmente em regiões em que predominam as grandes propriedades e que se realiza o cultivo de segunda safra (safrinha).

A aplicação de gesso agrícola é uma opção econômica para propiciar o aprofundamento do sistema radicular, embora pouco afete o pH do solo, pode diminuir a toxicidade do alumínio para as plantas, reduzindo a atividade desse elemento na solução do solo, e também fornecendo cálcio e sulfato em profundidade.

Portanto, espera-se que revolvendo um solo após longo tempo em sistema de plantio direto, ocorra maior produtividade de grãos de soja devido à disponibilidade

de nutrientes gerada com a decomposição da matéria orgânica e, ao rompimento de camada compactada que possa ter se formado ao longo dos anos. Como resultado, haverá uma distribuição mais homogênea dos nutrientes na camada avaliada do solo enquanto que no sistema de plantio direto, com o tempo, estes nutrientes fiquem mais concentrados na superfície (0-5 cm). Isso deve refletir negativamente em termos de produtividade de grãos, já que as raízes das plantas ficarão mais concentradas nessa camada superficial, o que, em caso de déficit hídrico, pode limitar a absorção de água e nutrientes.

Nesse sentido o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses de gesso agrícola em alguns atributos químicos do solo e na produtividade de grãos de soja em uma área em sistema de plantio direto com e sem revolvimento do solo, na região do Sudoeste Goiano.

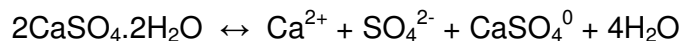
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gessagem

As limitações impostas pela acidez em solos das áreas de Cerrado vão além da camada superficial (0-20 cm), atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez por alumínio e/ou baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem à maximização da produção das culturas, por limitar o crescimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (Furtini Neto et al., 2001).

A correção da acidez subsuperficial encontra sérios problemas, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, pois exige equipamento apropriado e alto consumo de energia, o que impede muitas vezes que o processo se mostre eficiente em profundidade. Por isto, o uso de sais de cálcio, mais solúveis do que o carbonato do calcário, tem sido proposto como alternativa viável para se aumentar os teores de cálcio e reduzir atividade do íon Al^{3+} em profundidade, com conseqüente aumento do sistema radicular. Neste sentido, o gesso agrícola surge como uma dessas alternativas para melhorar o ambiente subsuperficial, como comentam Furtini Neto et al. (2001), pois contém sulfato de cálcio hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), o qual apresenta cerca de 20% de cálcio, 15% de enxofre, além de 0,7% de P_2O_5 e 0,6% de flúor.

Assim, quando o solo encontra-se com umidade suficiente, o gesso agrícola, após aplicação, sofre dissolução, conforme equação:



Uma vez na solução do solo, o cálcio pode interagir com o complexo de troca do solo, deslocando cátions, como alumínio, potássio e magnésio, para a solução do solo, que podem, por sua vez, reagir com o SO_4^{2-} formando $AlSO_4^+$ (que é menos tóxico às plantas) e os pares iônicos neutros: $K_2SO_4^0$, $CaSO_4^0$, $MgSO_4^0$. Dada a sua neutralidade, os pares iônicos apresentam grande mobilidade ao longo do perfil do solo, ocasionando um deslocamento de cátions para as camadas mais profundas, o

que contribui para a elevação dos teores desses elementos em profundidade, resultando em melhor crescimento radicular e maior absorção de água e nutrientes pelas raízes das plantas. Isso irá permitir que as plantas superem períodos de déficit hídrico e usem mais eficientemente os nutrientes aplicados ao solo (Carvalho & Raij, 1997).

Em solos com concentração muito baixa de alumínio e com baixa concentração de cálcio, o suprimento deste é o principal fator responsável pelo melhor crescimento do sistema radicular (Ritchey et al., 1982). Assim, o gesso, sendo utilizado como fonte de cálcio, pode contribuir para o desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo. Entretanto ainda há dúvidas sobre as condições em que se podem esperar efeitos favoráveis do gesso nas produções das culturas (Caires et al., 2003), fato este que suscita na comunidade científica pesquisas para tentar sanar as dúvidas ainda existentes.

Sousa et al. (1997) recomendam que se deve aplicar gesso quando a saturação por alumínio for maior que 20% ou o teor de cálcio for menor que 0,5 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo, nas camadas de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm. Os autores recomendam considerar o teor de argila do solo, para determinar a dose de gesso agrícola, para culturas anuais, conforme a fórmula:

$$\text{DG (kg ha}^{-1}\text{)} = 50 * \text{argila (\%)}$$

onde DG é a dose de gesso agrícola com 15% de enxofre (Sousa et al., 1997).

Já Vitti (2000) sugere a aplicação de 500 kg ha^{-1} de gesso agrícola (cerca de 75 kg ha^{-1} de enxofre) para culturas anuais, sendo que, esta dosagem permite o fornecimento de enxofre por aproximadamente três safras agrícolas e proporciona melhoria do ambiente radicular.

O gesso, além de melhorar as condições químicas em profundidade é, também, uma fonte de enxofre para as plantas, aspecto importante, uma vez que a deficiência desse nutriente é generalizada nos solos dos Cerrados (Sousa et al., 1997). O sulfato (S-SO_4^{2-}) do gesso distribui-se regularmente pelo perfil do solo ao invés de ficar acumulado em alguma camada (Sousa & Ritchey, 1986).

No entanto, se deve ter atenção com o uso de gesso agrícola já que doses elevadas do mesmo podem provocar lixiviação excessiva de bases trocáveis. A lixiviação de magnésio trocável tem sido resposta freqüente nos estudos com

aplicação de gesso em solos (Carvalho et al., 1986; Caires et al., 1999a; Ernani et al., 2001). Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas no solo, deve-se conciliar sua utilização com a aplicação de calcário dolomítico para compensar as perdas de magnésio trocável (Caires et al., 2004), evitando-se, dessa forma, problemas com relação a nutrição das plantas cultivadas após a gessagem.

Já a lixiviação de potássio trocável pelo uso de gesso pode ocorrer dependendo do tipo de solo (Sousa & Ritchey, 1986) e dependendo do sistema de plantio, onde no sistema de plantio direto, pequenas perdas desse nutriente têm sido observadas (Caires et al., 1998; 2002). Silva et al. (1997), no entanto, observaram diminuição nos teores de potássio trocável, na camada de 0-20 cm, com aplicação de 6 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola em superfície, enquanto houve aumento nos teores deste nutriente em profundidade (20-40 cm), proporcionalmente às quantidades lixiviadas de sulfato. O mesmo comportamento foi observado para o magnésio trocável.

A grande mobilidade de cátions ocasionada pelo gesso deve-se à maior solubilidade desse produto em relação aos calcários, à inalteração das cargas elétricas e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo (Dias et al., 1994). Assim, Caires et al. (2003) encontraram teores mais elevados de sulfato com aplicação de doses de gesso até a profundidade de 60 cm, movimentação esta proporcional às doses de gesso aplicadas.

A aplicação do gesso na superfície do solo diminui a magnitude da lixiviação de cálcio e prolonga seu efeito residual (Ernani et al., 2001), devendo-se ter estudos que norteiem tanto a quantidade, como a melhor forma de se aplicar o produto, para que se tenha melhores rendimentos com essa prática. Esses autores comentam que este efeito residual se deve à menor solubilização do gesso na superfície do solo, uma vez que as partículas entram em contato com menor volume de água. Este fato deixa claro que, dependendo da quantidade e da forma de aplicação de gesso agrícola, pode-se esperar uma maior ou menor concentração de cálcio no perfil do solo e, por conseguinte, um maior ou menor efeito sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Lopes et al. (2004) sugerem, entretanto, algumas medidas para minimizar o efeito dessas lixiviações com o uso de gesso. Para solos com acidez na camada

superficial, os autores recomendam fazer calagem 60 a 90 dias antes da aplicação de gesso. Em solos com teores baixos em magnésio, a calagem prévia deve ser feita com calcário magnesiano ou dolomítico considerando que cada tonelada de gesso por hectare poderá elevar o teor de cálcio em até $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Com base nesse valor, deve-se limitar a dose de gesso à no máximo 20% da CTC a pH 7,0 ocupada por cálcio advindo do gesso.

Outro ponto a ser considerado, segundo Caires et al. (2003), diz respeito ao aumento nos teores de cálcio trocável no solo com aplicação de gesso até a profundidade de 60 cm independentemente dos tratamentos com calagem. Tal fato por si só justificaria o uso do gesso agrícola, por melhorar o desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto a lixiviação de cátions (Caires et al., 1999a; Ernani et al., 2001) e a redução do alumínio tóxico em subsuperfície vêm a contribuir na melhoria das condições dos solos para o desenvolvimento do sistema radicular e da nutrição das plantas (Sousa et al., 2007).

Normalmente, a aplicação de gesso agrícola não provoca alterações importantes no pH do solo. Contrariamente à reduzida capacidade de alteração do pH do solo, a aplicação de gesso pode proporcionar importante redução no teor de alumínio trocável e em sua saturação (m%). A neutralização do alumínio trocável pela adição de gesso pode ocorrer, segundo Sousa et al. (2007), basicamente, a partir das seguintes reações:

- a) precipitação na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$ pela liberação de OH^- para a solução, em decorrência da adsorção do sulfato;
- b) formação do complexo AlSO_4^+ , que é menos tóxico às plantas;
- c) formação do par iônico AlF_2^+ decorrente da presença de F^- no gesso agrícola;
- d) precipitação de minerais de alumínio, como alunita e basaluminita, por exemplo, decorrente do aumento da concentração de sulfato na solução;
- e) aumento da força iônica na solução do solo, em profundidade, causando diminuição da atividade química do Al^{3+} .

A disponibilidade do enxofre orgânico às plantas depende de sua transformação a formas inorgânicas, quase que exclusivamente na forma de sulfato (SO_4^{-2}) (Costa, 1980), o qual é retido pelos grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo, sendo assim importante a adição de enxofre, na forma

inorgânica e prontamente disponível à planta para poder suprir eventuais deficiências deste nutriente.

Geralmente os solos de regiões tropicais apresentam menores teores de enxofre total e orgânico que os solos de regiões temperadas devido à maior mineralização e ao maior intemperismo, que determinam maiores perdas. Por ser constituído principalmente por frações orgânicas, o teor de enxofre total no solo não é um parâmetro adequado para indicar a disponibilidade para as plantas a curto prazo, entretanto pode indicar o potencial de suprimento de enxofre pelo solo.

Assim, a quantidade de sulfato disponível às plantas depende da quantidade de grupos funcionais com capacidade de adsorvê-lo. Os óxidos de ferro, em especial a goethita e ferrihidrita, e as arestas quebradas dos argilominerais 1:1 são os principais fornecedores de OH^- monocoordenados capazes de serem trocados pelo sulfato. A adsorção e a dessorção de sulfato nos grupos funcionais dos colóides inorgânicos são dependentes do pH do solo (Meurer et al., 2006), uma vez que, quando esses estão protonados, o processo de troca de ligante é favorecido pelo enfraquecimento da ligação do oxigênio ao metal. A energia de ligação do sulfato aos grupos funcionais é fraca comparativamente àquela do fosfato, sendo que é facilmente deslocado por outros ânions.

Desse modo, tanto a quantidade total de enxofre quanto a capacidade de adsorção do sulfato são menores em solos com baixos teores de argila e sua retenção é ainda diminuída pela aplicação de calcário e de fosfato. Assim, há um deslocamento desse íon às camadas mais profundas, onde pode ser adsorvido por causa dos maiores teores de argila e menores teores de matéria orgânica e valores de pH.

Dessa forma, no solo o sulfato enfrenta três fatores que dificultam a sua permanência, de acordo com Raji (1991). O primeiro é a presença de teores maiores de matéria orgânica, que reduz a adsorção por óxidos e aumenta a carga negativa do solo, portanto, repelindo sulfatos. O segundo é a aplicação freqüente de calcário, causando o aumento do pH e a liberação de sulfatos adsorvidos. Finalmente, os fosfatos aplicados em adubações ocupam preferencialmente as posições de troca que seriam ocupados por sulfatos facilitando a migração deste às camadas subsuperficiais, que por limitações físicas e químicas pode não ser acessado pelo

sistema radicular.

Como se nota, a dinâmica do sulfato nos solos é bastante complexa, com resultados esperados bastante díspares, devido tanto à forma e a fonte de enxofre utilizada, bem como à resposta da cultura a aplicação do mesmo. Caires et al. (2003) não obtiveram aumento de produtividade de grãos na cultura da soja com a aplicação de 9 Mg ha⁻¹ de gesso em um Latossolo Vermelho distrófico com textura argilosa, tanto em sistema de plantio direto quanto em plantio convencional, ausência de resposta também encontrada por Quaggio et al. (1993). No entanto, Sousa (2004) encontrou maior rendimento de grãos de soja com a aplicação de gesso agrícola na Região do Cerrado. Segundo Tanaka & Mascarenhas (2002) espera-se que haja resposta da soja ao gesso, quando aplicado em solo que apresentar na camada além da superficial, deficiência de cálcio e enxofre e, toxidez de alumínio.

Os resultados revelam que na faixa de 6 a 12 mg dm⁻³ não são esperadas respostas ao enxofre aplicado, mostrando ser uma faixa adequada à cultura da soja, considerando que parte do enxofre também pode ser absorvida do subsolo (Quaggio et al., 1993) ou, ainda, por mineralização da matéria orgânica.

Vários fatores podem ter contribuído para a falta de resposta em termos de produtividade das culturas a aplicação de gesso agrícola, um desses diz respeito aos teores de S-SO₄²⁻, os quais foram reduzidos nas camadas superficiais com a calagem, devido à liberação do sulfato adsorvido em decorrência do aumento do pH, com movimentação deste para o subsolo, conforme comentam Caires et al. (1999b) e Caires & Fonseca (2000).

Portanto, fatores como teto de produtividade, volume de solo explorado e, até mesmo, entrada de enxofre atmosférico por meio da água das chuvas, podem alterar a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes sulfatados. Isso dificulta o estabelecimento de um nível de suficiência de sulfato no solo confiável, quer pelos problemas de camada de solo amostrada, quer por falta de experimento de calibração ou por desconsiderar a dinâmica do enxofre no solo.

No caso do enxofre, o diagnóstico das condições físicas e químicas das camadas mais profundas pode ser mais importante do que o teor de sulfato da camada superficial. Desse modo, fica difícil estabelecer a probabilidade de resposta

das culturas por meio de diagnóstico da camada de 0-10 cm, como tem sido usado para o plantio direto, devendo-se avaliar em profundidades maiores para se tentar identificar o efeito da aplicação do gesso em profundidade no solo.

Nesse sentido a aplicação de gesso em áreas de plantio direto pode contribuir para o aumento do desenvolvimento do sistema radicular e, por conseguinte, em acréscimos na produção, tanto em áreas com culturas de verão como, e principalmente, em áreas com culturas de safrinha, as quais estão mais susceptíveis a ocorrência de déficits hídricos.

2.2. Sistemas de Preparo do Solo

Uma das principais metas da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo de solo adaptados às condições edafoclimáticas, sociais e culturais. Do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo. Assim, surge necessidade do desenvolvimento de novas práticas de manejo, bem como adaptar as já existentes às condições da região buscando maior sustentabilidade.

2.2.1 Sistemas de Preparo do Solo e suas Características Químicas

Com a adoção do sistema de plantio direto, alguns atributos do solo são diferenciados, principalmente em solos ácidos, podendo influenciar no desenvolvimento das culturas, pois neste sistema, os nutrientes são normalmente aplicados na superfície (0-10 cm) criando maiores gradientes de concentração com as camadas inferiores do que no plantio convencional, em que os nutrientes são incorporados à camada de solo de 0-20 cm (Ciotta, 2001).

O sistema de plantio direto, por manter os resíduos das culturas sobre a superfície do solo, geralmente promove incremento paulatino nos níveis de carbono nas camadas mais superficiais, particularmente nos solos menos tamponados,

incrementando a capacidade de troca de cátions e reduzindo a toxidez de alumínio para as plantas (Bayer, 1992; Costa et al., 2006). O aumento na CTC devido ao maior conteúdo de matéria orgânica pode suprir concentrações suficientes de cátions trocáveis e equilibrar solos ácidos (Caires et al., 1998). Em adição, a cobertura do solo reduz perda de água por evaporação e supre com maior disponibilidade de umidade a camada superficial, que pode promover maior quantidade de nutrientes em condições adversas de acidez (Caires & Fonseca, 2000).

O comportamento do potássio sob sistema de plantio direto tem sido variável, na maioria das vezes, ocorrendo concentração maior do nutriente na superfície (Klepker & Anghinoni, 1995), embora, em alguns solos, tenha sido verificada certa uniformidade dos teores desse nutriente em profundidade (Franchini et al., 2000). Almeida et al. (2005) encontraram pelo menos o dobro de potássio na camada de 0-10 cm em plantio direto em relação ao preparo convencional.

O comportamento do cálcio e do magnésio é variável conforme o sistema de manejo do solo, do tipo de solo, da seqüência de culturas, do clima e das diferenças na mobilidade intrínseca de cada elemento no solo (Almeida et al., 2005). O acúmulo superficial desses dois nutrientes em solos sob plantio direto foi observado por Ismail et al. (1994) e Falleiro et al. (2003), embora não tenha sido constatado por outros autores (Klepker & Anghinoni, 1995; Cassol, 1995).

Os teores de magnésio trocável não mostraram variações entre preparo convencional e sistema de plantio direto embora, em valores absolutos, tenha ocorrido aumento nos teores desse nutriente, em profundidade no sistema de plantio direto, principalmente a partir dos 10 cm (Almeida et al., 2005). Esse comportamento pode estar associado à maior mobilidade desse cátion em relação ao cálcio, cuja lixiviação ficou mais bem evidenciada no sistema de plantio direto pelo fato de o solo não ter sido revolvido.

Essas diferenças no sistema de plantio direto, com relação aos teores de cálcio, magnésio e potássio, são devido ao acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo em relação sistemas de manejo onde ocorre o revolvimento do mesmo, na distribuição dos nutrientes no perfil do solo (Muzilli, 1983), na dinâmica da matéria orgânica (Freixo et al., 2002) e da água (Sadras et al., 2005) e na

estruturação do solo (Bronick & Lal, 2005) que podem influenciar o crescimento e a distribuição do sistema radicular.

Devido a esse comportamento variável dos nutrientes no perfil do solo em função da calagem, do manejo adotado, das condições edafoclimáticas e da cultura em questão existe a importância da realização de estudos que possibilitem o esclarecimento de dúvidas que surgem ao longo do tempo perante as novas condições que vão surgindo no solo.

2.2.2 Sistemas de Preparo do Solo e a Cultura da Soja

O sistema de plantio direto apresenta maior umidade nas camadas superficiais, mantendo-se por mais tempo na faixa de água disponível para as plantas, graças à cobertura do solo, que reduz as perdas por evaporação. Portanto, a elevada produção de soja em condições de alta acidez do solo, no sistema de plantio direto, deve estar relacionada à adequada absorção de água e de nutrientes pela cultura, em decorrência de maior umidade disponível no solo (Caires & Fonseca, 2000).

A soja, com os processos de melhoramento genético, vem apresentando altos rendimentos no Cerrado brasileiro, e também em áreas sob sistema de plantio direto, independentemente das possíveis restrições de compactação do solo ou concentração superficial de nutrientes sobre o rendimento de grãos (Kluthcouski et al., 2000). Na década de 80, ainda no início da implantação do sistema de plantio direto, Muzilli (1983) observou que os rendimentos desta cultura, ao se considerar o efeito médio de várias safras, geralmente se equivalem nos diferentes sistemas de manejo do solo, com pequena vantagem para o plantio direto. Pauletti et al. (2003) encontraram mesmo rendimento de grãos de soja, entre sistema de plantio direto e plantio convencional, na média de cinco anos agrícolas e Secco et al. (2005), em três safras de soja, obtiveram mesmo resultado.

Os manejos conservacionistas, quando comparados ao preparo convencional, imprimem características químicas, físicas e biológicas distintas ao solo, de maneira a modificar a distribuição e morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da

parte aérea, e conseqüentemente, na produtividade (Klepker & Anghinoni, 1995). A soja quando cultivada sob sistema de plantio direto, pode apresentar crescimento inicial reduzido, com plantas menos vigorosas, quando comparado ao preparo convencional, no entanto, há um crescimento compensador atingindo produtividade de grãos equiparada em ambos os sistemas (Yusuf et al., 1999; Kluthcouski et al., 2000).

Aproximadamente 70 a 80% da massa das raízes de soja distribuem-se nos primeiros 15 cm do solo, em condições normais de cultivo, com o desenvolvimento radicular da soja ocorrendo através dos macroporos ou dos espaços vazios entre os agregados (Abreu et al., 2004). A continuidade desses espaços vazios, considerados fundamentais para o aprofundamento das raízes, é decorrente da presença de estruturas mais frágeis, fendas – originadas dos movimentos de contração e expansão da fração coloidal – e de canais formados pelas raízes em decomposição e pela atividade biológica da fauna do solo (Neves et al., 2003).

Todos esses processos estão intimamente associados ao manejo do solo nas operações de preparo, rotação de culturas e atividades de descompactação (Torres & Saraiva, 1999). Assim, observam-se resultados bastante díspares em relação à produtividade de soja, com os diferentes manejos dados aos solos, no que concerne à aplicação de corretivos e fertilizantes, bem como à sua incorporação ou não.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Primavera, situada no Município de Serranópolis (GO), localizado nas coordenadas 18°13'49" S e 51°58'41" W, e altitude de 840 m. O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo AWa caracterizado como tropical úmido e seco, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação média anual é de 1.600 mm e a temperatura média anual de 22°C.

Durante a condução da cultura, a pluviosidade acumulada foi de 1.400 mm, sendo que a precipitação pluviométrica foi bem distribuída neste período (Figura 1), e atendeu as necessidades hídricas para a produção máxima da cultura da soja, que variam entre 450 e 700 mm/safra (Doorembos & Kassam, 1994). No entanto, um estresse hídrico era desejado para avaliar o efeito da aplicação de gesso e, o manejo adotado, no crescimento radicular e, conseqüentemente, na produtividade de grãos de soja.

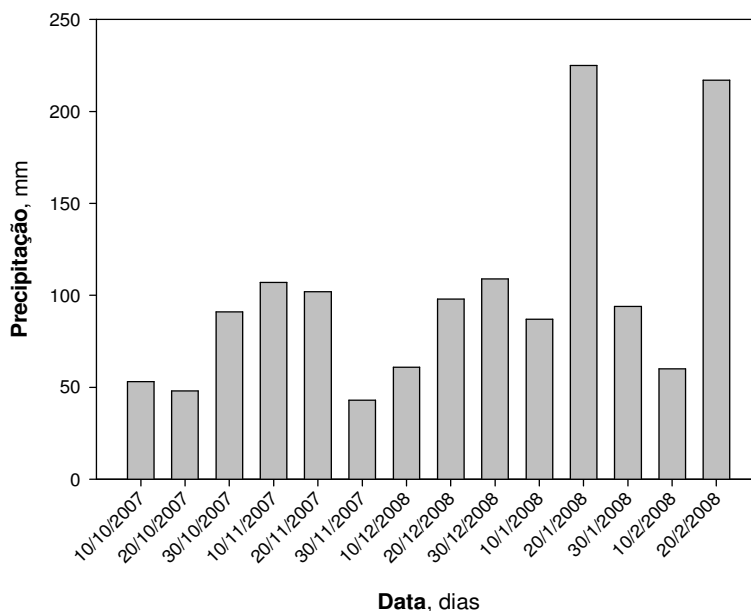


Figura 1. Precipitação acumulada (mm), a cada dez dias, iniciando no dia 01/10/2007, ocorrida durante a condução da cultura da soja, no ano agrícola de 2007/2008, na área do experimento.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura argilosa (Embrapa, 2006). A vegetação original da área experimental era do tipo Cerrado, a qual foi desmatada em 1984 e cultivada no sistema convencional (gradagens aradora e niveladora) até 1989 com plantio unicamente de soja, posteriormente sendo cultivada no sistema de plantio direto, com a mesma cultura. A partir de 1992, até a presente data, a área está sendo cultivada em sucessão soja/milho safrinha.

Previamente à instalação do experimento fez-se uma coleta de amostras de solo para determinação dos atributos químicos e granulométricos (Tabela 1) (Embrapa, 1999), das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

Tabela 1. Caracterização química e granulométrica de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em quatro diferentes camadas, no Município de Serranópolis-GO.

Cam.	pH	P	S	Ca	Mg	K	Al	H + Al	CTC	SB	m	MO	Argila	Silte	Areia
cm	H ₂ O	---g dm ⁻³ ---	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----g dm ⁻³ -----			%	-----g dm ⁻³ -----			
0-5	5,4	7,7	9,3	3,5	1,6	0,56	0,08	4,8	10,4	5,6	0,8	53,9	360	130	510
5-10	5,3	18,2	12,8	2,3	1,4	0,34	0,08	5,6	9,6	4,0	0,8	37,6	410	100	490
10-20	5,3	2,6	15,3	1,6	1,0	0,16	0,10	4,3	7,0	2,7	1,4	28,9	460	80	460
20-40	5,3	0,7	50,3	0,9	0,3	0,10	0,07	3,5	4,7	1,2	1,5	22,8	540	100	360

No presente trabalho, os tratamentos foram dispostos em blocos completos balanceados ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, com área de 413,78 m² (6,13 x 67,5 m), foram utilizados dois manejos: sistema de plantio direto e plantio convencional; nas subparcelas, com área de 82,76 m² (6,13 x 13,5 m), foram aplicadas as cinco doses de gesso agrícola: 0, 1, 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹ e, as subsubparcelas, foram constituídas pelas quatro camadas de amostragem: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

Na instalação do experimento aplicou-se calcário dolomítico com 94% de PRNT, 33,65 g kg⁻¹ de CaO e 16,6 g kg⁻¹ de MgO e 99,1% de reatividade. A aplicação foi realizada a lanço na superfície do solo, na dose de 1,6 Mg ha⁻¹, a qual foi calculada pelo método de saturação por bases, para elevá-la a 60% (Raij et al., 1991), na camada de 0-20 cm. O gesso agrícola foi proveniente de uma indústria de produção de ácido fosfórico em Catalão-GO. A aplicação do calcário ocorreu 22 dias antes da semeadura da soja, juntamente com a distribuição manual de gesso

agrícola, em superfície, em aplicação única.

Nas parcelas sob revolvimento, tanto o calcário quanto o gesso, foram incorporados a 20 cm de profundidade, por meio de duas gradagens com uso de grade aradora, seguida de nivelamento da área por meio de grade niveladora. Nas parcelas sob plantio direto utilizou-se a mesma dose de calcário recomendada para a camada de 0-20 cm de profundidade, não sendo incorporada como apregoa tal sistema de manejo.

A cultura utilizada foi a da soja (*Glycine max* (L.) Merrill, cv 98Y11, Pioneer) no ano agrícola de 2007/2008. A adubação de plantio foi de 400 kg ha⁻¹ da fórmula NPK, 02-20-18, sendo realizada na linha de semeadura. A soja foi semeada em 21 de outubro de 2007, com espaçamento de 45 cm entrelinhas e densidade de 400.000 sementes ha⁻¹, para se atingir o estande de 16 plantas m⁻¹. Os demais tratamentos culturais foram realizados conforme recomendações técnicas para a cultura nesta região (Embrapa, 2008), no entanto não foi realizada a inoculação das sementes e também não foi feita adubação de cobertura na área. Os tratamentos fitossanitários realizados durante a condução da cultura se encontram no Anexo A.

Após a maturação foi realizada a colheita da soja, onde a área útil de cada subparcela correspondeu a 24 m², sendo que havia uniformidade no número de plantas colhidas entre os tratamentos. Após a colheita, as plantas foram trilhadas, tendo sido desprezados 2,75 m de cada extremidade da linha, sendo então determinada a produção de grãos a 13% de umidade. Após a colheita, a área ficou com uma distribuição de palhada homogênea na superfície.

Amostras de solo foram coletadas após a colheita da soja, ao acaso, nas linhas e entre as linhas da cultura. A coleta de solo foi realizada por meio de pá-de-corte após ter sido cavado uma pequena trincheira de 45 cm de comprimento no sentido perpendicular à linha de plantio, iniciando-se no meio de uma entrelinha indo até o meio da outra entrelinha.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Goiás, *Campus* Jataí, as quais foram preparadas para comporem amostras de terra fina seca ao ar para posterior análise dos componentes químicos do solo.

Assim, foram determinados os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ (KCl 1N), K⁺ (Mehlich-1),

S-sulfato (método turbidimétrico, Vitti & Suzuki, 1978) e CTC efetiva (soma de bases + Al) (Embrapa 1999).

As análises estatísticas foram efetuadas para os teores de nutrientes no solo e produtividade de grãos de soja. Após análise de variância, as interações foram desdobradas, quando necessário e, os tratamentos qualitativos comparados pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, calculando a DMS através do quadrado médio combinado, e os quantitativos através de regressão. Foram também realizadas análises de correlação linear simples pelo método de Pearson (Steel & Torrie, 1960; Cruz & Regazzi, 1994) entre os teores de cálcio, magnésio, potássio, capacidade de troca de cátions efetiva, sulfato e a produtividade. Todas as análises foram efetuadas utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Sistema para Análise Estatística).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de Cálcio Trocável

A análise de variância para os teores de Ca^{2+} no solo foi significativa para a interação tripla ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Portanto, existe diferença entre plantio direto (PD) e plantio direto com revolvimento (PDR), com no mínimo uma das doses de gesso que foram aplicadas, em no mínimo uma das camadas que foram amostradas.

Tabela 2. Análise de variância para os teores de Ca^{2+} no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das camadas de solo.

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
Bloco	3	13,16	4,386	6,88	*
Manejo	1	21,76	21,763	34,13	*
Erro (a)	3	1,91	0,638	-----	-----
Doses de gesso	4	61,81	15,453	20,43	*
Gesso x Manejo	4	3,47	0,869	1,15	Ns
Erro (b)	24	18,15	0,76	-----	-----
Camadas	3	635,52	211,84	544,96	*
Camadas x Manejo	3	51,82	17,273	44,44	*
Camadas x Gesso	12	34,81	34,811	7,46	*
Camadas x Manejo x Gesso	12	29,59	2,465	6,34	*
Resíduo	90	34,98	0,39	-----	-----
Total	159	907	----	-----	-----
Média Geral	3,69				
CV do Experimento (%)	18,60				

ns - não significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 5%.

O comportamento do Ca^{2+} apresentou diferença entre o PD e o PDR (Figura 2), sendo que, no PD observa-se um gradiente de concentração mais acentuado, em todas as doses de gesso aplicadas, na superfície do solo (Figura 2a). Mesmo sem a aplicação de gesso foi observado maior teor de Ca^{2+} em superfície, diminuindo em profundidade, devido tanto à aplicação superficial de calcário quanto a concentração de Ca^{2+} que havia no solo inicialmente, já que não se realiza a incorporação do mesmo e os nutrientes ficam mais concentrados na superfície (Figura 2a).

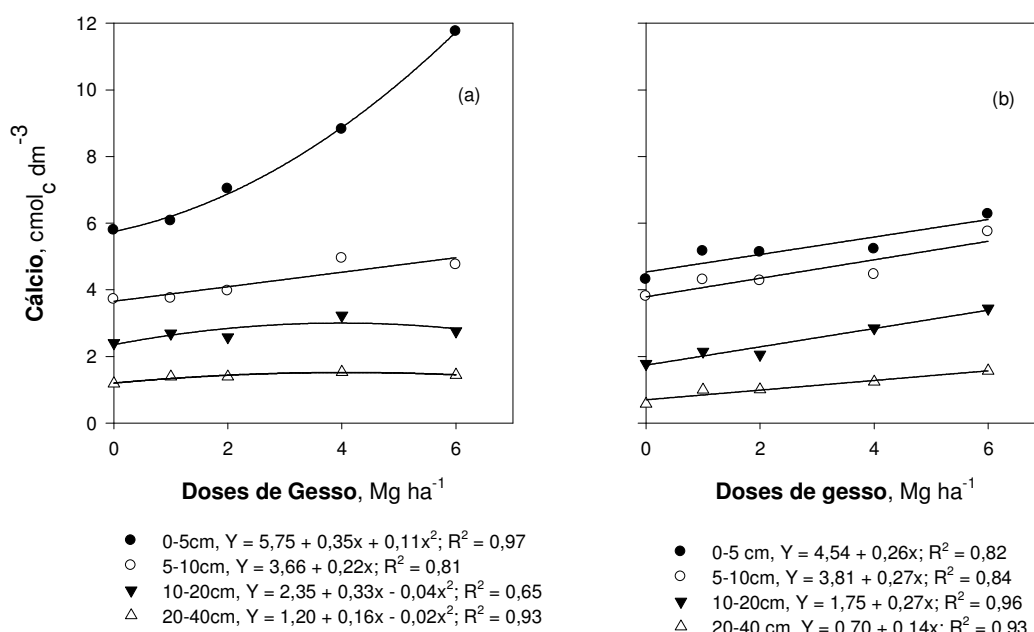


Figura 2. Teores de Ca^{2+} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).

O não-revolvimento do solo no PD proporcionou um destacado aumento nos teores de Ca^{2+} na camada de 0-5 cm, apresentando comportamento quadrático positivo com o aumento das doses de gesso (Figura 2a) sendo superior em relação ao PDR (Figura 3). Os teores deste elemento variaram, nessa camada, de 5,79 (sem aplicação de gesso) para 11,75 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (com 6 Mg ha^{-1} de gesso), representando 68% da CTC efetiva do solo na maior dose de gesso aplicada. O elevado teor de Ca^{2+} nessa camada pode afetar a disponibilidade de Mg^{2+} e de K^+ no solo, já que o Ca^{2+} é o cátion dominante no complexo de troca (65%) do solo (Vitti et al., 2006), pois na seqüência liotrópica ele é atraído, preferencialmente, pelas cargas negativas do solo (CTC) em relação ao Mg^{2+} e ao K^+ (Meurer et al., 2006).

Esse aumento acima de 65% na participação do Ca^{2+} na CTC pode ser um indicativo de desequilíbrio de cátions no solo, embora esse desequilíbrio não tenha se refletido na produtividade de grãos de soja. Isso comprova que se desconhece as relações que surgem no solo sob sistema de plantio direto, quando este se encontra consolidado, corroborando com as conclusões de Nicolodi et al. (2008).

Não foi observada lixiviação de Ca^{2+} nas camadas amostradas de solo com o

aumento nas doses de gesso agrícola aplicadas no PD (Figura 2a). Silva et al. (1997) observaram esse aumento nos teores de Ca^{2+} em profundidade, porém em um experimento conduzido por quatro anos agrícolas, enquanto esse se trata de somente uma safra, devendo-se avaliar a possibilidade de lixiviação de Ca^{2+} por mais alguns anos.

No PD é possível que tenha ocorrido flocculação do solo com a dose de gesso de 6 Mg ha^{-1} (Figura 2a), nas camadas de 5-10, 10-20 e 20-40 cm, já que com esta dose houve concentração de Ca^{2+} em relação as demais profundidades e pelo comportamento quadrático positivo observado na camada de 0-5 cm. A flocculação do solo depende do tipo de cátion e da concentração eletrolítica da solução do solo, em que cátions polivalentes e maior concentração eletrolítica favorecem a flocculação, por diminuir a distância entre as partículas de argilas (Meurer et al., 2006). Enquanto no PDR (Figura 2b), não se observa esse comportamento, havendo, até mesmo, acréscimo nos teores de Ca^{2+} com a maior dose de gesso aplicada, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm quando se compara os dois sistemas de manejo (Figura 3e).

Ernani et al. (2001) comentam que o gesso agrícola aplicado sobre a superfície do solo apresenta menor magnitude de lixiviação e seu efeito residual é maior do que se o produto for incorporado ao solo, no entanto deve-se avaliar qual a melhor dose a ser aplicada para não se ter problemas com lixiviação de bases.

A incorporação permitiu uma homogeneização nos teores de Ca^{2+} nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 2b), mostrando que o revolvimento causa uma uniformização nos teores desse nutriente até 10 cm de profundidade no solo, reduzindo a concentração do mesmo em superfície, quando comparado ao PD, apresentando comportamento linear na camada de 0-5 cm. Na camada de 5-10 cm observa-se teores de Ca^{2+} levemente superiores no PDR devido ao efeito de homogeneização ocorrido com o revolvimento, sendo significativa a diferença entre os dois manejos, nesta camada, nas doses de gesso de 2 e 6 Mg ha^{-1} (Figura 3c,e). Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, os teores de Ca^{2+} , quando se compara os dois sistemas de manejo, se mostram com valores semelhantes nas doses de gesso de 1 e 4 Mg ha^{-1} (Figura 3b, d).

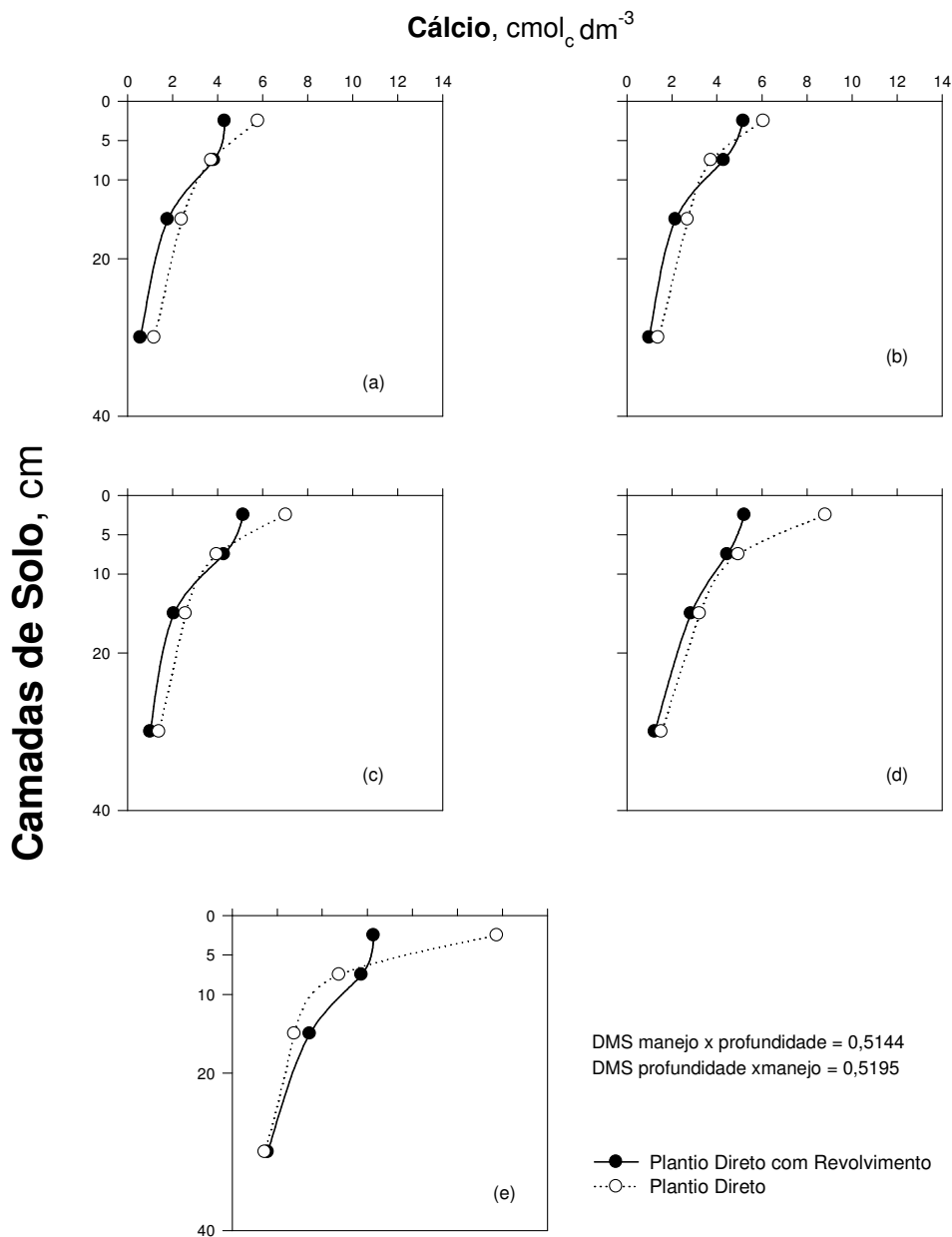


Figura 3. Teores de Ca^{2+} em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).

Observando a Figura 3, nota-se que somente sem a aplicação de gesso agrícola, os teores de Ca^{2+} foram semelhantes nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, no PDR mostrando ter ocorrido uma diluição homogênea do mesmo até 10 cm de profundidade. Nas demais camadas, para os dois sistemas de manejo, houve

diminuição nos teores de Ca^{2+} até a profundidade de 40 cm sendo, nesta camada, esses teores semelhantes nos dois sistemas de manejo .

Diante do exposto, fica evidente que no PD não se justifica doses elevadas de gesso, pois há um menor teor de Ca^{2+} nas camadas além da superficial quando se aplica doses altas de gesso. O revolvimento não proporciona aumento nos teores desse nutriente em profundidade, considerando somente uma safra agrícola (2007/2008) de avaliação. Porém, deve-se considerar que estes resultados podem ser influenciados pelas condições inerentes à área experimental, às condições climáticas do ano agrícola, à fertilidade do solo e ao manejo que vem sendo adotado ao longo dos anos.

4.2 Teores de Magnésio Trocável

A análise de variância para os teores de Mg^{2+} no solo mostrou significância para a interação dupla de camadas amostradas e manejos adotados (Tabela 3), considerando $p \leq 0,05$.

Houve um decréscimo, em valores absolutos, nos teores de Mg^{2+} de 35%, entre o tratamento sem (Figura 4a) e com 6 Mg ha^{-1} de gesso (Figura 4e), na camada superficial, em PD (Figura 4a). Isso demonstra que o Mg^{2+} formou complexos com carga neutra com o sulfato, promovendo a sua descida para camadas mais profundas do solo. Diferença significativa foi observada por Silva et al. (1997) e por Caires et al. (2003), na camada de 0 a 20 cm, com aplicação de 6 Mg ha^{-1} e de 9 Mg ha^{-1} de gesso, respectivamente.

O decréscimo nos teores de Mg^{2+} foi menos acentuado no PDR, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, sendo que este comportamento também ocorreu com o aumento das doses de gesso nesse sistema de manejo (Figura 4b). No entanto, os níveis deste nutriente se encontram acima do nível crítico ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para atender a cultura da soja (Sousa & Lobato, 2004) em todas as camadas e doses de gesso aplicadas.

Tabela 3. Análise de variância para os teores de Mg^{2+} no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
Bloco	3	0,83	0,276	2,33	Ns
Manejo	1	0,44	0,437	3,69	Ns
Erro (a)	3	0,35	0,118	---	---
Doses de gesso	4	1,95	0,486	1,78	Ns
Gesso x Manejo	4	0,31	0,078	0,29	Ns
Erro (b)	24	5,21	0,22	---	---
Camadas	3	39,94	13,314	101,22	*
Camadas x Manejo	3	3,35	1,117	8,49	*
Camadas x Gesso	12	2,05	0,171	1,3	Ns
Camadas x Manejo x Gesso	12	1,13	0,095	0,72	Ns
Resíduo	90	11,48	0,13	---	---
Total	159	67,06	---	---	---
Média Geral	1,23				
CV do Experimento (%)	29,50				

ns - não significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 5%.

Quando se compara os dois sistemas de manejo, nota-se que no PDR houve homogeneização do Mg^{2+} , principalmente na camada de 0-5 e 5-10 cm e homogeneização até 10 cm de profundidade (Figura 5), pelo processo de revolvimento do solo. No PD ocorre a formação de um gradiente de concentração, a partir da superfície até a camada de 10-20 cm (Figura 5), sendo que, exceto no tratamento sem aplicação de gesso, não existe diferença entre as camadas de 10-20 e 20-40 cm em relação aos teores de Mg^{2+} . No PDR, nestas mesmas camadas, e para os tratamentos sem gesso e 1 Mg ha⁻¹ existe uma diminuição nos teores desse nutriente em profundidade (Figura 5a,b).

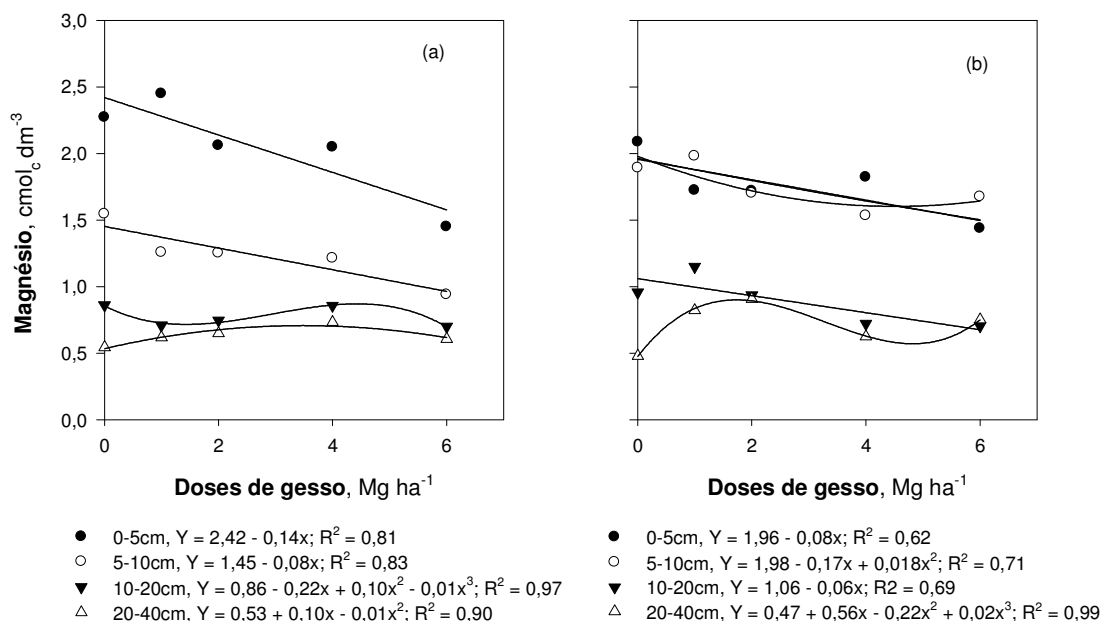


Figura 4. Teores de Mg^{2+} em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).

Os teores de Mg^{2+} são superiores na camada superficial, no PD, em valores absolutos, nas cinco doses de gesso aplicadas, embora exista diferença estatística, somente nas doses de gesso de 1 e 2 Mg ha^{-1} (Figura 5). Na camada de 5-10 cm, o PDR se mostra com teores de Mg^{2+} mais elevados em todas as doses de gesso aplicadas mostrando que, com o revolvimento ocorre uma distribuição mais homogênea entre as duas camadas superficiais enquanto no PD a maior concentração desse nutriente ocorre em superfície. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, os teores desse nutriente são semelhantes nos dois sistemas de manejo adotados (Figura 5) considerando somente quatro meses entre aplicação de gesso agrícola e a amostragem de solo.

4.3 Teores de Potássio Trocável

A análise de variância para os teores de K^+ no solo foi significativa somente para as camadas avaliadas, considerando probabilidade de 5% (Tabela 4) embora o desdobramento, utilizando o valor do quadrado médio combinado, tenha sido significativo para manejos.

O maior teor de K^+ nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, no tratamento sem gesso agrícola, em PD (Figura 6a) se deve tanto à realização anual de adubação potássica na linha por ocasião da semeadura, quanto à ciclagem desse nutriente via resíduos vegetais.

Tabela 4. Análise de variância para os teores de K^+ no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
Bloco	3	5613,57	1871,2	2,65	Ns
Manejo	1	165,51	165,507	0,23	Ns
Erro (a)	3	2122,08	707,361	---	---
Doses de gesso	4	2164,92	541,23	1,34	Ns
Gesso x Manejo	4	1447,20	361,8	0,9	Ns
Erro (b)	24	7081,2	295,05	---	---
Camadas	3	387438,3	129146,1	574,31	*
Camadas x Manejo	3	287,08	95,69	0,43	Ns
Camadas x Gesso	12	1109,33	92,44	0,41	Ns
Camadas x Manejo x Gesso	12	3960,32	330,03	1,47	Ns
Resíduo	90	20692,0	229,91	---	---
Total	159	432081,9	----	---	---
Média Geral	69,869				
CV do Experimento (%)	21,46				

ns - não significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 5%.

O potássio está presente em altas concentrações nos tecidos das plantas, que ao serem depositadas no solo liberam-no rapidamente, pois este permanece livre no seu interior (Ernani et al., 2007). Outros autores também encontraram maiores concentrações de K^+ na superfície do solo em PD (Klepker & Anghinoni, 1995). Jorge et al. (2004) observaram também que a aplicação isolada de calcário permitiu que ocorressem maiores concentrações de potássio nas folhas de soja, comparativamente à utilização de calcário e gesso agrícola, tanto em PD quanto em

PC, comprovando que o sulfato do gesso desloca este cátion para fora da região de absorção das raízes.

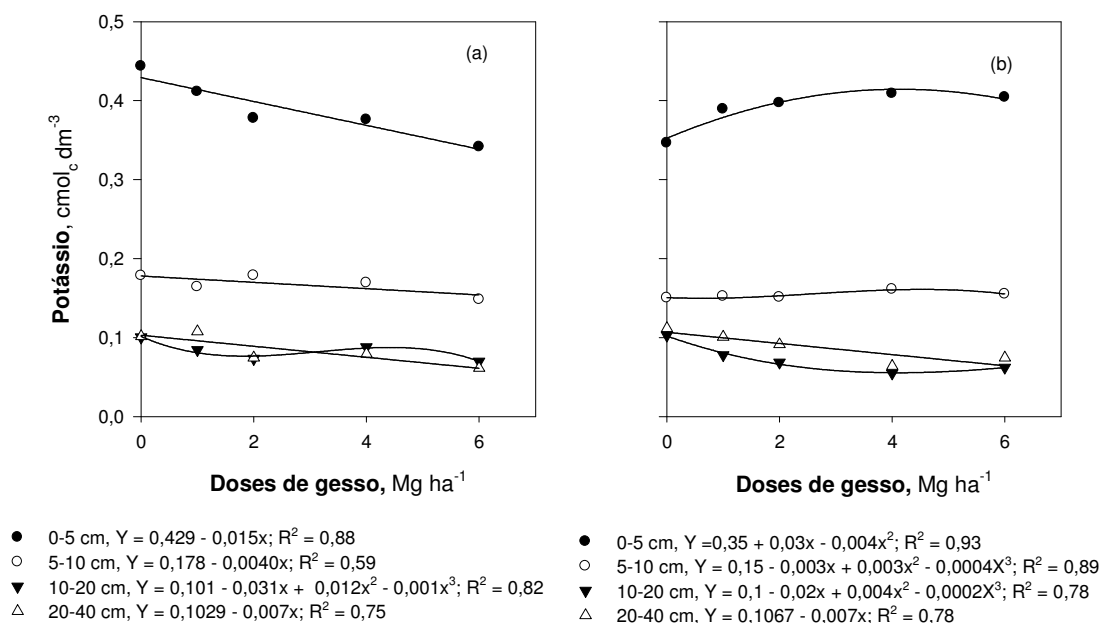


Figura 6. Teores de K^+ em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses de gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).

No PDR os teores de K^+ , na camada superficial do solo, apresentam comportamento quadrático positivo com o aumento das doses de gesso, acompanhando o aumento no teor de Ca^{2+} , podendo ser indicativo de que o Ca^{2+} esteja deslocando K^+ da CTC do solo (Figura 6b). No entanto, existe uma uniformidade nos teores desse nutriente, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, nos dois sistemas de manejo (Figura 7), conforme resultado encontrado por Franchini et al. (2000).

Apesar do comportamento do K^+ não ser igual na camada de 10-20 cm, entre o PD e o PDR (Figura 6), os teores desse nutriente são semelhantes entre os dois sistemas de manejo (Figura 7). Isso indica que a incorporação não altera de maneira substancial a concentração de K^+ nessa camada. Já na camada de 20-40 cm, o comportamento entre os sistemas de manejo é o mesmo e os teores de K^+ não diferem. No tratamento sem aplicação de gesso agrícola, o PD apresentou teor

superior de K^+ em relação ao PDR, em valores absolutos, na camada de 0-5 cm (Figura 7a), devido ao não-revolvimento do solo possibilitando a concentração do mesmo na superfície ao invés de ser incorporado a uma camada maior de solo e aos teores desse nutriente inicialmente encontrado no solo.

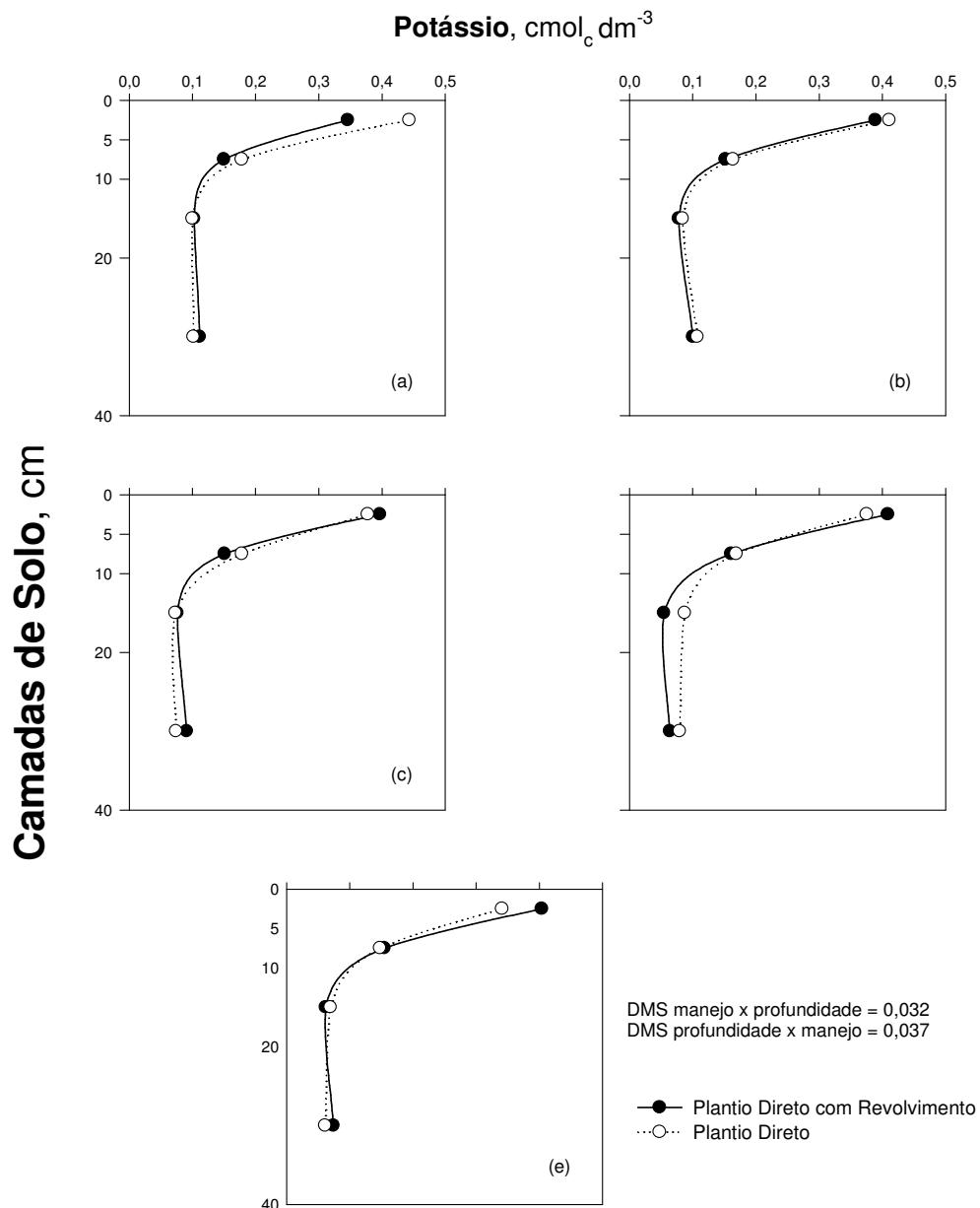


Figura 7. Teores de K^+ em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).

Na dose de 6 Mg ha⁻¹ de gesso, o PDR apresenta teor mais elevado de K⁺, quando comparado ao PD, na camada de 0-5 cm (Figura 7e), pois nessa dose houve descida desse nutriente juntamente com o sulfato para camadas mais profundas do solo devido ao excesso de Ca²⁺, no PD, deslocando o K⁺ adsorvido pelos colóides para a solução do solo (Meurer et al, 2006).

Os resultados encontrados demonstram que o aumento no teor de Ca²⁺ (Figura 2) proporciona uma diminuição nos teores de K⁺, tanto em PD quanto em PDR (Figura 6). De acordo com Meurer et al. (2006), isto ocorre em função do processo de seletividade entre os sítios de adsorção e os íons do solo, em que aqueles íons com mais alta carga são preferidos e que o aumento na concentração de um íon pode provocar o deslocamento de íons adsorvidos.

4.4 Capacidade de Troca de Cátions Efetiva do Solo

A análise de variância para os valores de CTC efetiva no solo demonstra significância, ao nível de 5%, para as doses de gesso e os manejos adotados e, para as camadas avaliadas e os manejos PD e PDR.

No sistema de PD, os valores da capacidade de troca de cátions efetiva (CTC) partiram de 11 para 17 cmol_c dm⁻³ (Figura 8a), com o aumento nas doses de gesso de 0 para 6 Mg ha⁻¹, na camada de 0-5 cm, acompanhando o aumento ocorrido nos teores de Ca²⁺ (Figura 2a).

Tanto no PD como no PDR, os teores de Ca²⁺ que determinaram os valores da CTC efetiva (Figura 8) em todas as camadas avaliadas. Com isso, se demonstra que o aumento da CTC efetiva do solo, quando se aplica gesso, é principalmente devido ao aumento nos teores de Ca²⁺, já que nas camadas de 0-5 e 5-10 cm os teores de Mg²⁺ (Figura 4) e K⁺ (Figura 6) reduziram com a aplicação de doses crescentes de gesso.

No PD os valores da CTC efetiva foram superiores, na camada superficial do solo, nas doses de gesso de 2, 4 e 6 Mg ha⁻¹ (Figura 9c, d, e), devido a maior concentração de Ca²⁺ nesta camada quando comparado ao PDR. Enquanto no PDR, houve diferença na camada de 20-40 cm, para as doses de gesso de 2 e 4 Mg

ha⁻¹. Falleiro et al. (2003) encontraram maiores teores de Ca²⁺ e Mg²⁺, na camada superficial do solo, em PD, quando comparado a sistemas com preparo do solo, em um Argissolo, o que refletiu em maior valor de CTC efetiva.

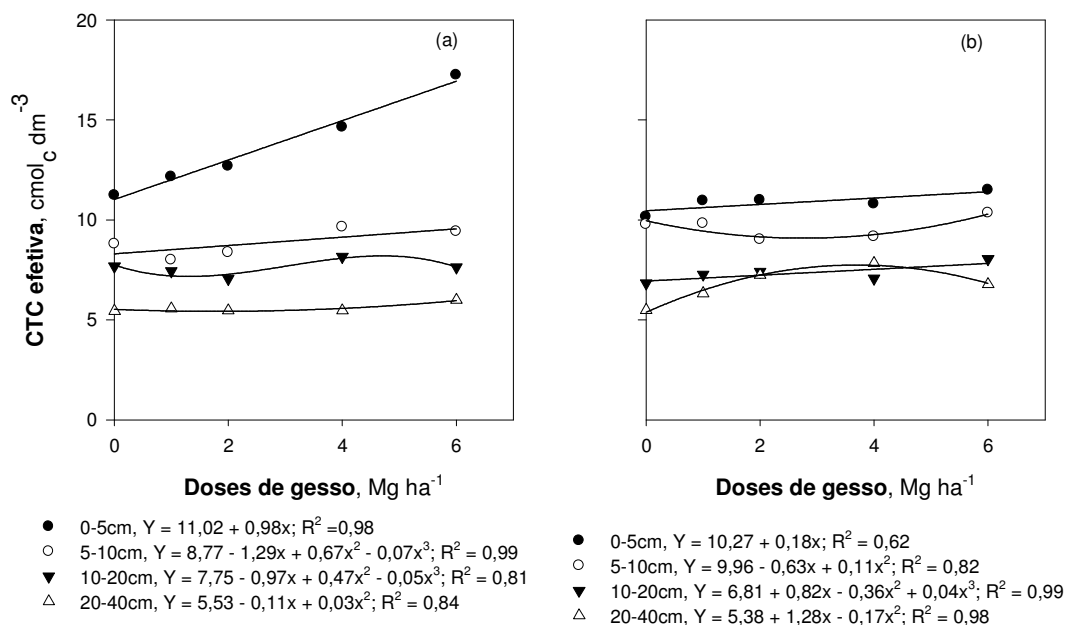


Figura 8. Capacidade de troca de cátions efetiva, em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).

Portanto, a aplicação de gesso agrícola pode aumentar a saturação por Ca²⁺ na CTC efetiva, além do que o sulfato pode se ligar ao Al³⁺ e reduzir seu teor e/ou atividade no solo e causar aumento na CTC potencial do solo (Sousa et al., 2007). Ainda, no PD o aumento da CTC na superfície também pode ser devido à adsorção específica de sulfato por aumentar a carga líquida negativa do solo (Meurer et al., 2006).

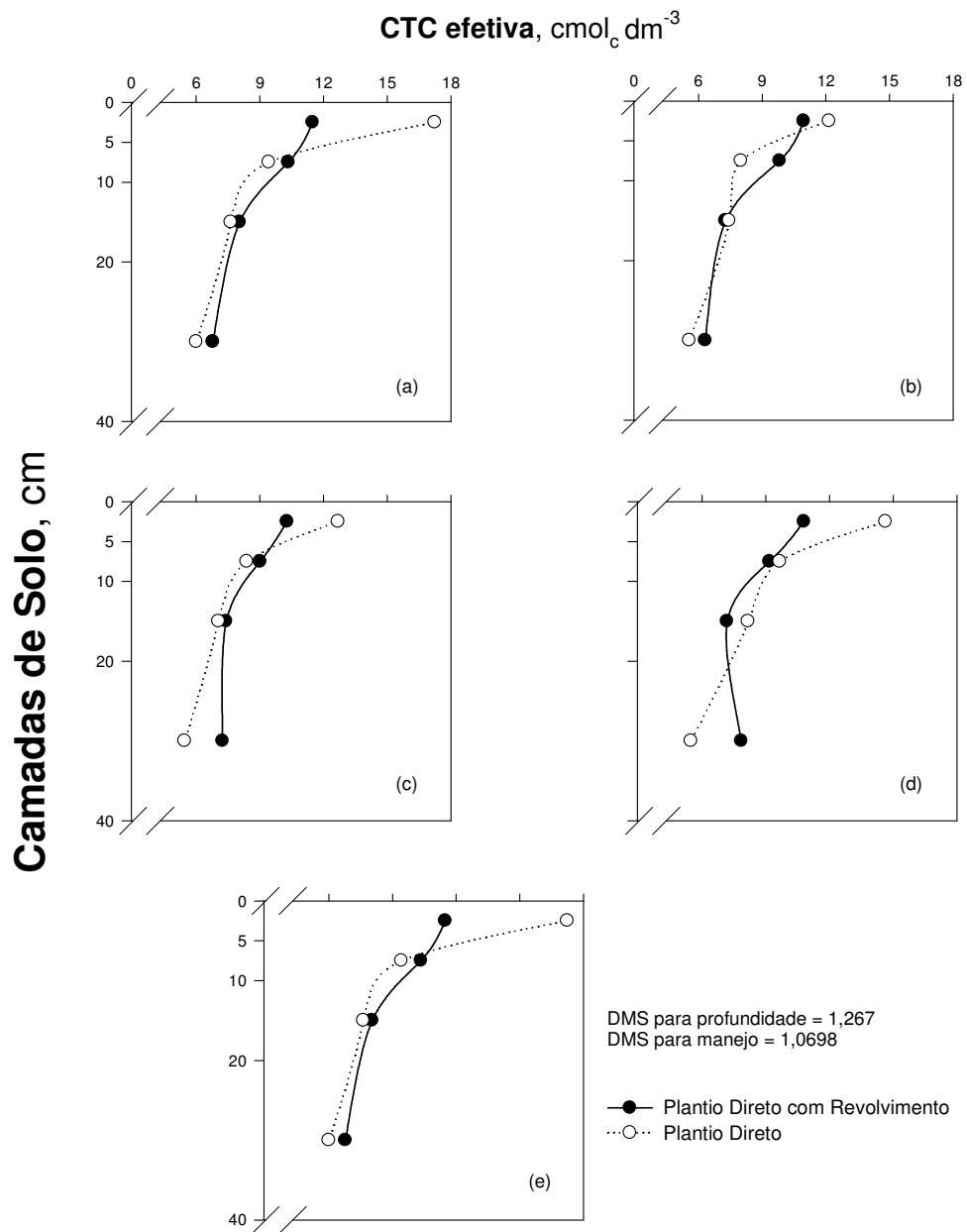


Figura 9. Capacidade de troca de cátions efetiva em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha^{-1} (b), 2 Mg ha^{-1} (c), 4 Mg ha^{-1} (d) e 6 Mg ha^{-1} (e).

4.5 Teores de Sulfato

A análise de variância para os teores de $S-SO_4^{-2}$ no solo foram significativos para todos os fatores e suas interações, exceto para blocos (Tabela 6), considerando $p \leq 0,05$.

Tabela 6. Análise de variância para os teores de $S-SO_4^{-2}$ no solo, em função dos manejos, das doses de gesso e das quatro camadas de solo.

FV	GL	SQ	QM	F	Sig.
Bloco	3	2750,11	916,7	2,45	ns
Manejo	1	49748,34	49748,3	132,76	*
Erro (a)	3	1124,16	374,72	---	---
Doses de gesso	4	259616,8	64904,2	77,26	*
Gesso x Manejo	4	114583,1	28645,8	34,10	*
Erro (b)	24	15865	661,05	---	---
Camadas	3	125292,4	41764,12	97,15	*
Camadas x Manejo	3	190033,0	63344,3	147,34	*
Camadas x Gesso	12	176017,5	14668,1	34,12	*
Camadas x Manejo x Gesso	12	232825,8	19402,15	45,13	*
Resíduo	90	38065,87	422,95	---	---
Total	159	1205922	----	---	---
Média Geral	52,284				
CV do experimento (%)	39,66				

ns - não significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 5%.

No PD, o aumento nas doses de gesso em superfície refletiu em acentuado aumento nos teores de $S-SO_4^{-2}$, na camada de 0-5 cm (Figura 10a). Nas outras camadas foi observado comportamento linear crescente com o aumento das doses de gesso, entretanto menos expressivo. Além disso, se verifica que há uma maior concentração de $S-SO_4^{-2}$ na camada de 20-40 cm, resultado também obtido por Silva et al. (1997), demonstrando que este íon desce com facilidade, em profundidade, no solo. Este $S-SO_4^{-2}$ que deslocou deve ter carregado K^+ , Mg^{2+} e principalmente Ca^{2+} (Sousa et al., 2007).

No PDR o revolvimento do solo propiciou uma distribuição do $S-SO_4^{-2}$ em profundidade (Figura 10b), sendo que este teve maior concentração na camada de 20-40 cm quando comparado as demais camadas (Figura 10b). Já a movimentação de $S-SO_4^{-2}$ no solo foi maior com as maiores doses de gesso aplicadas, tanto no PD

quanto no PDR (Figura 10), concordando com os resultados de Caires et al. (2003).

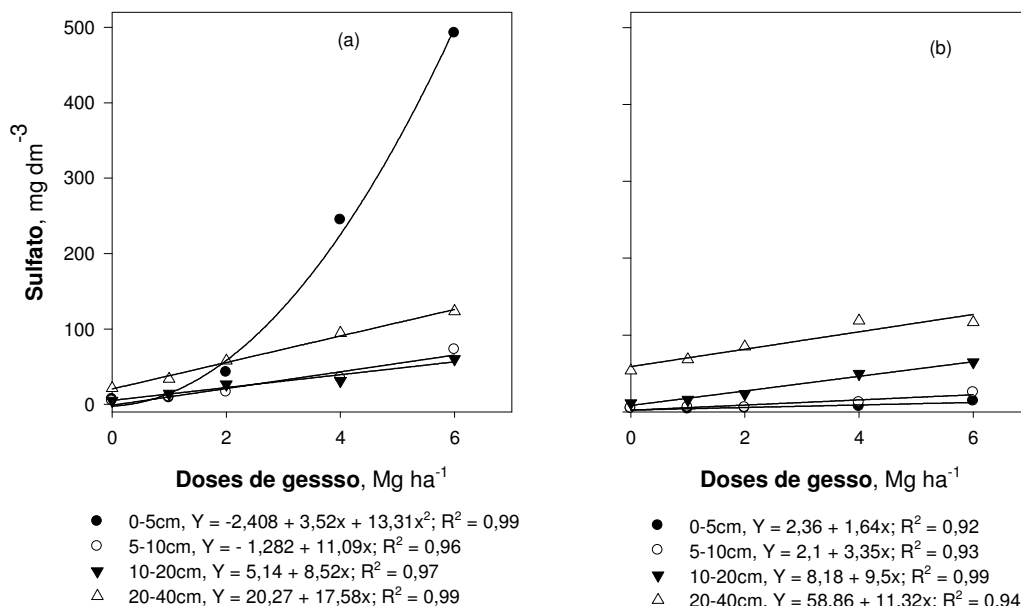


Figura 10. Teores de S-SO₄⁻², em profundidade, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função de doses gesso, em sistema de plantio direto (a) e em sistema de plantio direto com revolvimento (b).

Observando a Figura 11, nota-se que o PDR apresenta maiores teores de S-SO₄⁻², em relação ao PD, na camada de 20-40 cm, exceto para a dose de 6 Mg ha⁻¹ de gesso, demonstrando que o revolvimento possibilita a descida mais rápida do S-SO₄⁻² em profundidade. Enquanto que nas doses de gesso de 4 e 6 Mg ha⁻¹, o PD possui teores superiores desse nutriente em superfície (Figura 11d, e).

A distribuição do S-SO₄⁻² é uniforme em profundidade, no PD, no tratamento sem gesso agrícola (Figura 11a). Nas doses de gesso de 4 e 6 Mg ha⁻¹, a maior concentração de S-SO₄⁻², nesse sistema de manejo, foi em superfície quando comparado as demais camadas (Figura 11d, e) No entanto, no PDR, os teores de S-SO₄⁻² apresentam superiores na camada de 20-40 cm (Figura 11).

O teor do íon sulfato é influenciado pela precipitação pluvial, temperatura, adubação, manejo dos restos culturais e fertilizantes utilizados (Nogueira & Melo, 2003). A distribuição das chuvas no período da cultura da soja foi em alta intensidade podendo ser um dos responsáveis pelas variações nos teores de S-SO₄⁻² no solo por favorecer a migração desse íon em profundidade, já que a

permanência do ânion sulfato ocorre quase que totalmente na solução do solo (Dias et al., 1994).

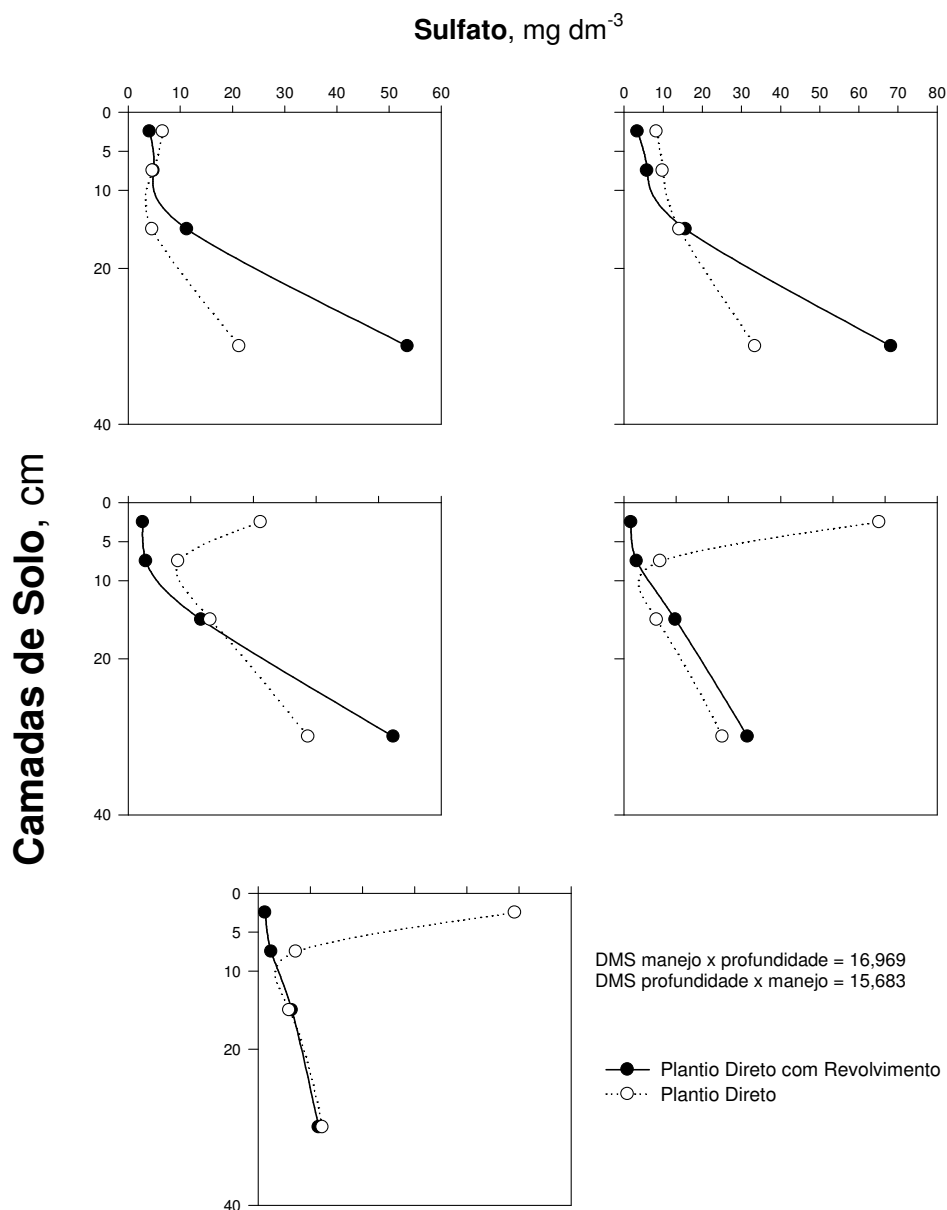


Figura 11. Teores de S-SO₄²⁻ em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, sob dois sistemas de manejo do solo. (Tukey a 5%): sem gesso (a), 1 Mg ha⁻¹ (b), 2 Mg ha⁻¹ (c), 4 Mg ha⁻¹ (d) e 6 Mg ha⁻¹ (e).

Pelo fato do S-SO₄²⁻ se deslocar rapidamente em profundidade, este nutriente merece atenção para que não se torne limitante às culturas, especialmente em solos

com baixos teores de matéria orgânica, sua principal reserva.

4.6 Produtividade da Soja

A análise de variância para produtividade de grãos de soja foi significativa, ao nível de 5%, somente para manejo (Tabela 7) sendo que o PD apresenta maior produtividade em relação ao PDR (Figura 12).

Tabela 7. Análise de variância para produtividade de grãos de soja, em função das doses de gesso e manejos adotados.

F V	GL	SQ	QM	F	Sig.
Bloco	3	6,85	2,28	0,36	ns
Doses de Gesso	4	18,38	4,59	0,73	ns
Manejo	1	316,91	316,91	50,09	*
Gesso x Manejo	4	26,39	6,60	1,04	ns
Resíduo	27	170,82	6,32	-----	-----
Média Geral	70,522				
CV (%)	3,56				

ns - não significativo ao nível de 5%.

* significativo ao nível de 5%.

Observando a Figura 12, nota-se que no tratamento sem gesso agrícola, houve a maior diferença entre os manejos, sendo que o PD se sobressai em 440 kg ha⁻¹ em relação ao PDR, o que equivale a 7,3 sacas de 60 kg de grãos de soja. A menor diferença ocorreu na dose de 6 Mg ha⁻¹, sendo de 215 kg ha⁻¹, o que equivale a 3,58 sacas de 60 kg, apresentando-se superior no PD. Embora Kluthcouski et al., (2000) tenham encontrado apenas pequena vantagem para o PD, em rendimento de grãos de soja, quando comparado ao plantio convencional não sendo significativo estatisticamente.

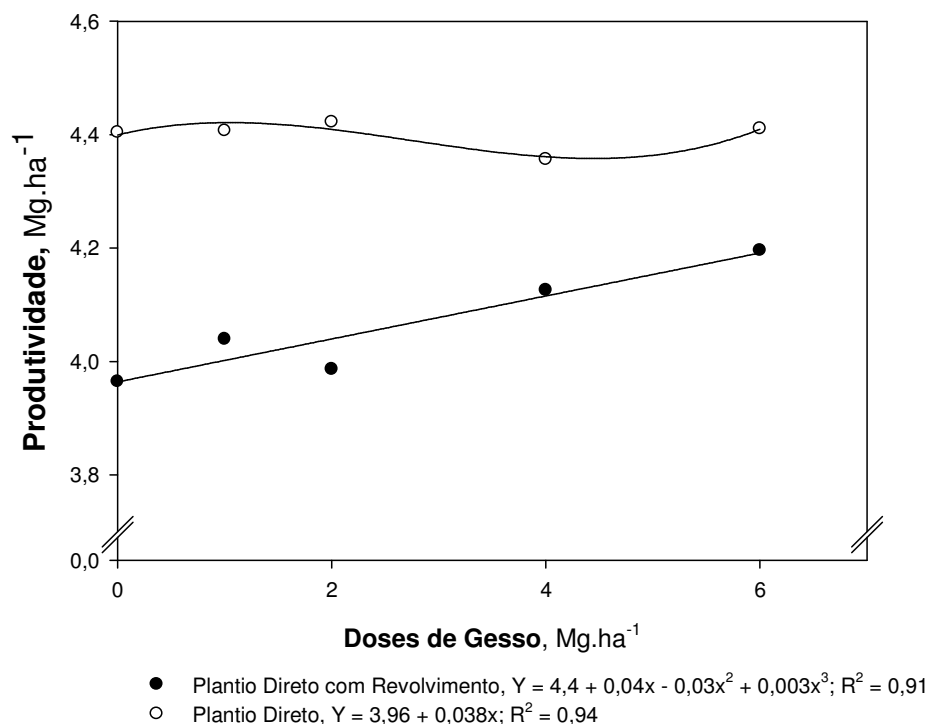


Figura 12. Produtividade de grãos de soja em função de doses de gesso em sistema de plantio direto e em plantio direto com revolvimento.

Não foi encontrada resposta em produtividade de grãos de soja, com as doses de gesso aplicadas, em nenhum dos dois sistemas de manejo, apesar do comportamento linear crescente, com as doses de gesso agrícola aplicadas, no sistema de PDR (Figura 12). Resultado semelhante foi encontrado em outros trabalhos realizados tanto em PD como em áreas em plantio convencional (Caires et al., 2003; Quaggio et al., 1993).

O revolvimento do solo favorece o contato da fonte de energia e carbono com os microrganismos, além do revolvimento favorecer a aeração e expor a matéria orgânica que está dentro dos agregados, facilitando o consumo do carbono pela microbiota decompositora com conseqüente liberação de CO₂ e de nutrientes. Enquanto que no PD surgem as propriedades emergentes do sistema, que são as interações entre os componentes do sistema (solo, minerais, plantas e microrganismos), resultando em estruturas cada vez mais complexas e diversificadas capacitando o sistema a funcionar em múltiplas situações e, desta

forma, manter a sua integridade frente a perturbações (Vezzani, 2001), justificando a maior produtividade no PD, neste experimento, embora se esperava que o contrário ocorresse.

O sistema de PD preserva e enriquece as relações construídas no solo com o tempo de cultivo. As propriedades químicas, físicas e biológicas são alteradas e melhoradas com o passar dos anos, dificultando a avaliação da fertilidade desses solos perante as altas produtividades obtidas mesmo que os teores de nutrientes estejam abaixo (Nicolodi et al., 2008), ou mesmo superiores aos níveis considerados críticos, como ocorreu nesse experimento, devido a estabilidade atingida pelo tempo nesse sistema.

4.7 Correlação dos Nutrientes Avaliados e da Produtividade da Soja

Na camada superficial do solo (0-5 cm) observa-se no PDR houve correlação linear positiva entre os teores de Ca^{2+} e a produtividade da soja (Tabela 8) mostrando que um aumento nos teores deste nutriente interfere na produtividade de grãos de soja desde que outras variáveis não sejam limitantes.

Tabela 8. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 0-5 cm.

Variáveis	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC	S-SO_4^{2-}	Prod.
Ca^{2+}	1	-0,97**	0,77 ^{ns}	0,90*	0,86*	0,88*
Mg^{2+}	-0,95**	1	-0,76 ^{ns}	-0,83*	0,74 ^{ns}	-0,74 ^{ns}
K^+	-0,89*	0,85*	1	0,63 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,70 ^{ns}
CTC	0,99**	-0,91*	-0,91*	1	0,78 ^{ns}	0,91*
S-SO_4^{2-}	0,99**	-0,93*	-0,83*	0,98**	1	0,87*
Produtividade	-0,16 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	1

Acima da diagonal principal, valores de r para plantio direto com revolvimento.

Abaixo da diagonal principal, valores de r para plantio direto.

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

^{ns}: não significativo.

O Ca^{2+} interfere positivamente na CTC efetiva do solo, na camada de 0-5 cm, no PDR (Tabela 8), já que o aumento deste nutriente compete com as demais bases pelos sítios de adsorção do solo e reflete positivamente na produtividade. No entanto

o Mg^{2+} apresenta correlação negativa em relação ao Ca^{2+} e a CTC efetiva, pois as superfícies carregadas do solo tem preferência pelos íons de maior valência (Meurer et al., 2006) e portanto, são mais seletivos ao Ca^{2+} .

O aumento nos teores de $S-SO_4^{2-}$ se correlaciona com aumento na produtividade de grãos, na camada superficial do solo no PDR (Tabela 8) demonstrando que o revolvimento do solo causa uma melhor distribuição deste nutriente em profundidade. Desta forma, o teor desse nutriente fica abaixo do nível de suficiência para a cultura da soja, assim um aumento no seu teor causa um aumento de produtividade.

No PD, na camada de 0-5 cm (Tabela 8), a produtividade não foi influenciada por nenhuma das variáveis estudadas mesmo com o Ca^{2+} interferindo positivamente na CTC efetiva e negativamente nos teores de Mg^{2+} e K^+ sendo que estes dois nutrientes influenciaram negativamente a CTC efetiva. Isso indica que a aplicação de Ca^{2+} , por meio da gessagem, desloca Mg^{2+} e K^+ da CTC efetiva e o Ca^{2+} se torna o íon com maior participação na mesma. Os teores de $S-SO_4^{2-}$ nesta profundidade não foram significativos para causar um aumento na produtividade de grãos de soja, comprovando que ao longo do tempo, no PD, mesmo com adição de elevados teores de Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$, nem sempre indicadores químicos detectam a mudança na capacidade produtiva do solo (Nicolodi et al., 2008).

Na camada de 5-10 cm a produtividade, no PDR, está sendo influenciada, de forma positiva, pelos teores Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ presentes no solo (Tabela 9). Enquanto no PD a produtividade não está sendo alterada pelos teores existentes no solo dos nutrientes em questão.

Na camada de 10-20 cm, a produtividade continua sendo influenciada pelos teores de Ca^{2+} e $S-SO_4^{2-}$ presentes no solo, no PDR (Tabela 10), enquanto no PD o teor de Ca^{2+} e a CTC efetiva encontrados no solo estão afetando negativamente a produtividade de grãos podendo ser um indicativo de desequilíbrio de cátions nesta profundidade.

Tabela 9. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 5-10 cm.

Variáveis	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC	S-SO_4^{2-}	Prod.
Ca^{2+}	1	-0,42 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,96 ^{**}	0,89 [*]
Mg^{2+}	-0,69 ^{ns}	1	-0,78 ^{ns}	0,36 ^{ns}	-0,51 ^{ns}	-0,57 ^{ns}
K^+	-0,54 ^{ns}	0,85 [*]	1	-0,17 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,72 ^{ns}
CTC	0,89 [*]	-0,38 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	1	0,60 ^{ns}	0,45 ^{ns}
S-SO_4^{2-}	0,81 [*]	-0,89 [*]	-0,85 [*]	0,69 ^{ns}	1	0,93 [*]
Produtividade	-0,63 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,65 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	1

Acima da diagonal principal, valores de r para plantio direto com revolvimento.

Abaixo da diagonal principal, valores de r para plantio direto.

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

^{ns}: não significativo.

Na camada de solo de 20-40 cm, no PDR, a produtividade está sendo influenciada pelos teores de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} presentes nesta profundidade (Tabela 11). Enquanto no PD os teores atuais desses nutrientes não estão afetando de forma direta a produtividade da cultura da soja.

Tabela 10. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 10-20 cm.

Variáveis	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC	S-SO_4^{2-}	Prod.
Ca^{2+}	1	-0,78 ^{ns}	-0,75 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,98 ^{**}	0,99 ^{**}
Mg^{2+}	0,17 ^{ns}	1	0,60 ^{ns}	-0,40 ^{ns}	-0,88 [*]	-0,71 ^{ns}
K^+	-0,15 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1	-0,55 ^{ns}	-0,78 ^{ns}	-0,73 ^{ns}
CTC	0,70 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1	0,70 ^{ns}	0,69 ^{ns}
S-SO_4^{2-}	0,42 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1	0,95 ^{**}
Produtividade	-0,84 [*]	-0,63 ^{ns}	-0,39 ^{ns}	-0,91 [*]	-0,01 ^{ns}	1

Acima da diagonal principal, valores de r para plantio direto com revolvimento.

Abaixo da diagonal principal, valores de r para plantio direto.

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

^{ns}: não significativo.

Tabela 11. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , CTC efetiva, S-SO_4^{2-} e produtividade da soja, na camada de 20-40 cm.

Variáveis	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CTC	S-SO_4^{2-}	Prod.
Ca^{2+}	1	0,40 ^{ns}	-0,84*	0,63 ^{ns}	0,90*	0,93**
Mg^{2+}	0,88*	1	-0,15 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,08 ^{ns}
K^+	-0,57 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	1	-0,87*	-0,99**	-0,83 ^{ns}
CTC	0,30 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	1	0,82*	0,49 ^{ns}
S-SO_4^{2-}	0,76 ^{ns}	0,48 ^{ns}	-0,88*	0,71 ^{ns}	1	0,87*
Produtividade	-0,48 ^{ns}	-0,67 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	1

Acima da diagonal principal, valores de r para plantio direto com revolvimento.

Abaixo da diagonal principal, valores de r para plantio direto.

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

^{ns}: não significativo.

5. CONCLUSÕES

1) A distribuição de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} em profundidade no solo, com aplicação de gesso, em superfície e incorporado, apresentam comportamento diferenciado, sendo que quando o solo não é revolvido as bases trocáveis se concentram na camada de 0-5 cm.

2) As maiores concentrações nos teores de sulfato no solo, no sistema de plantio direto, se encontram na camada superficial; já no plantio direto com revolvimento, a maior concentração ocorre na camada de 20-40 cm.

3) O sistema de plantio direto apresenta maior produtividade de grãos de soja em relação ao plantio direto com revolvimento, independentemente da dose de gesso aplicada;

4) Não há resposta, em termos de produtividade de grãos de soja, às doses de gesso aplicadas tanto em sistema de plantio direto quanto em plantio direto com revolvimento.

6. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M. & REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.28, p.519-531, 2004.

ALMEIDA, J. A. de; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. do & ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.29, p.437-445, 2005.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 172p. (Tese de Mestrado).

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management a review. **Geoderma**, v. 124, p.3-22, 2005.

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**, Campinas, v.28, p. 125-136, 2004.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p. 275-286, 2003.

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

CAIRES, E. F. & FONSECA, A. F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas,

v.59, p.213-220, 2000.

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 de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p. 315-327, 1999a.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.315-327, 1999b.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p. 27-34, 1998.

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.

CARVALHO, L. J. C. B.; GOMIDE, R. L.; RODRIGUES, G. C.; SOUSA, D. M. G. & FREITAS Jr., E. Resposta do milho à aplicação de gesso e déficit hídrico em solos de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.61-83.

CASSOL, L. C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 98p. (Tese de Mestrado).

CIOTTA, M. N. **Componentes químicos do solo influenciados por sistemas de preparo e modos e calagem em experimento de longa duração.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 102p. (Tese de Mestrado).

COSTA, C. A. S. **Mineralização do S orgânico e adsorção de sulfato em solos.** 1980. 65f. Dissertação (mestrado em Ciências do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J. & SOUSA, D. M. G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.1185-1191, 2006.

DIAS, L. E.; ALVAREZ, V. H.; COSTA, L. M. & NOVAIS, R. F. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.18, p.373-380, 1994.

DOOREMBOS, J. KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

EMBRAPA. **Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2009 e 2010.** Londrina: Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. &

NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.551-594.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S. & BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, p.825-831, 2001.

FALLEIRO, R. M; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A. & FAGUNGES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.1097-1104, 2003.

FRANCHINI, J. C.; BORKERT, C. M.; FERREIRA, M. M. & GAUDÊNCIO, C. A. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.459-467, 2000.

FREIXO, A. F.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A. & FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of Rhodic Ferrasol under influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.64, p.221-230, 2002.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G. & GUEDES, G. A. de A. **Fertilidade do Solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

ISMAIL, I.; BLEVINS, R. L. & FRYE, W. W. Long term no-tillage on soil properties and continuous corn yields. **Soil Science American Journal**, Madison, v.58, p.193-198, 1994.

JORGE, R. F.; PASSOS, R. R.; BORGES, E. N.; CORRÊA, G. F. & GONTIJO, I. Efeito de sistemas de preparo no rendimento, nutrição e características agrônômicas da soja cultivada em solo de cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.20, p. 187-196, 2004.

KLEPKER, D. & ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.395-401, 1995.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M. & FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, p.97-104, 2000.

LOPES, A. S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G. & SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: Anda, 2004. 110p.

MEURER, E. J.; RHEINHEIMER, D. & BISSANI, C. A. Fenômenos de Sorção em Solos. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos da Química do Solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. p.117-162.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.95-102, 1983.

NEVES, C.S.V.J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J. & FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.71, p.109-119, 2003.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGLINONI, I.; MARRÉ, J. & MIELNICZUK, J. Insuficiência do Conceito Mineralista para expresser a fertilidade do solo percebida pelas plantas cultivadas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v32, p. 2735-2744, 2008.

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**, Campinas, v.27, p.655-663, 2003.

PAULETTI, V.; LIMA, M. R. de; BARCIK, C. & BITTENCOURT, A. Rendimento de grãos de milho e soja em uma sucessão cultural de oito anos sob diferentes sistemas de manejo de solo e de culturas. **Ciência Rural**, v.33, p.491-495, 2003.

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**, Brasília, v.28, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba. Ceres/POTAFOS. 1991. 343 p.

RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. & COSTA, V. F. Calcium deficiency in clayey B horizons of Savannah Oxisols. **Soil Science**, Baltimore, v.133, p.378-382, 1982.

SADRAS, V. O.; O`LEARY, G. J. & ROGET, D. K. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. **Field Crops Research**, v.91, p.131-148, 2005.

SECCO, D.; DA ROSS, C. O.; SECCO, J. K. & FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.407-414, 2005.

SILVA, N. M.; RAIJ, B van; CARVALHO, L. H.; BATAGLIA, O. C. & KONDO, J .I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 2, p.389-401, 1997.

SOUSA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de & OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa:

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SOUSA, D. M. G. de. Resposta das culturas à adição de gesso agrícola. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 26, 2004, Lages, SC. [Avaliação das conquistas: base para estratégias futuras. Fertbio 2004: anais]. **CD-ROM** – Trabalho completo.

SOUSA, D. M. G. & LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.(Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.81-96.

SOUSA, D. M. G de; LOBATO, E. & REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997, 20 p. (Embrapa-CPAC. Circular Técnica, 32).

SOUSA, D. M. G. & RITCHEY, K. D. Uso de gesso no solo de cerrado. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1, 1986, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.119-144.

TANAKA, R. T. & MASCARENHAS, H. A. A. Resposta da soja à aplicação de gesso agrícola. **O Agrônomo**, v.54, n.2, 2002.

TORRES, E. & SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1999, 58p. (Embrapa-CNPSO. Circular técnica, 23).

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. (Tese de Doutorado).

VITTI, G. C.; LIMA, E. & CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.299-325.

VITTI, G. C. **Uso eficiente do gesso agrícola na agro-pecuária**. Piracicaba: Esalq-GAPE, 2000. 30 p. (Esalq-GAPE: Divulgação Técnica, 2)

YUSUF, R. I.; SIEMENS, J. C.; BULLOCK, D. G. Growth analysis of soybean under no-tillage and conventional tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.6, p. 928-933, 1999.

ANEXO

Anexo A. Tratos culturais realizados durante a condução da cultura da soja, no ano agrícola de 2007/2008, no Sudoeste Goiano.

Especificação	Produto	Dose
Fungicida na semente	Maxim XL	100 ml/100 kg
Inseticida na semente	Cruiser	100 ml/100 kg
Herbicida	Glifosato	3 L
Inseticida na linha	Ensossulfan	1 L
Inseticida lagarta	Karate Zeon	0,03 L
Inseticida lagarta	Curyom	0,25 L
Inseticida percevejo	Engeo Pleno	0,2 L
Inseticida percevejo	Folisuper	0,7 L
Fungicida	Cercobin	1 L
Fungicida	Priori Xtra	0,3 L
Adjuvante	Nimbus	0,6 L
Adubo Foliar	Bio Plus-A	2 L