



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Alterações de propriedades físico-químicas em solo de cerrado cultivado com algodão sob sistemas de manejo e doses de gesso”

RODRIGO MINGUINI

Orientadora: Prof^a. Dra. Marlene Cristina Alves

Co-orientador: Prof. Dr. Aguinaldo José Freitas Leal

Ilha Solteira – SP

Agosto – 2010



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

“Alterações de propriedades físico-químicas em solo de cerrado cultivado com algodão sob sistemas de manejo e doses de gesso”

RODRIGO MINGUINI

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marlene Cristina Alves

Co-orientador: Prof. Dr. Aguinaldo José Freitas Leal

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Ilha Solteira – SP

Agosto – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

M664a Minguini, Rodrigo.
Alterações de propriedades físico-químicas em solo de cerrado cultivado com algodão sob sistemas de manejo e doses de gesso / Rodrigo Minguini. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010.
72 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2010

Orientadora: Marlene Cristina Alves
Co-orientador: Aginaldo José Freitas Leal
Inclui bibliografia

1. *Gossypium hirsutum*. 2. Plantio direto. 3. Porosidade. 4. Produtividade agrícola.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Alterações de propriedades físico-químicas em solo de cerrado, cultivado com algodão sob sistemas de manejos e doses de gesso

AUTOR: RODRIGO MINGUINI

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARLENE CRISTINA ALVES

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LAZARINI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MONICA MARTINS DA SILVA SALVADOR

Campus de Descalvado / Universidade Camilo Castelo Branco

Data da realização: 23 de agosto de 2010.

Dedico esta dissertação aos meus pais, Amilton Minguini e Aparecida Sebastiana Soares Minguini que sempre estiveram do meu lado, me apoiando nos momentos mais difíceis, com muito amor, carinho e paciência para que pudesse chegar aonde cheguei. Aos meus irmãos Rogério Minguini e Débora Minguini pelo amor, amizade, companheirismo e auxílio em toda caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha vida, por me manter vivo e com saúde.

À minha família pelo amor, carinho, incentivo e apoio.

À minha orientadora, professora Dra. Marlene Cristina Alves, pela amizade, apoio, compreensão e todos os ensinamentos para minha formação profissional.

Ao meu Co-orientador, professor Dr. Aguinaldo José Freitas Leal, pelo apoio, amizade, compreensão em todos os momentos e agradecimento a todo o auxílio dado desde o início do trabalho.

Aos Professores por todo o trabalho e os ensinamentos que contribuíram em muito na minha formação profissional.

Aos meus companheiros da Fundação Chapadão: Jeferson, Germison, Denísio, Henrique e toda galera que sempre me ajudou e apoiou em todos os momentos da minha vida pessoal e profissional, muito obrigado.

À minha namorada Caroline Marques Gonzaga e toda família, pelo amor e carinho, sempre ao meu lado, apoiando em todos os momentos, auxiliando, aconselhando e ajudando em toda essa caminhada.

À família do meu amigo Murilo, Marli, Dona Cota, que sempre estavam lá pra me ajudar no que precisasse, sempre me apoiando e orientando.

Aos funcionários da Universidade Estadual Paulista – Campus de Ilha Solteira que me ajudaram no desenvolvimento do mestrado, em especial ao Valdivino.

Aos meus amigos de Mestrado: Carlos, Carolina, Fábio, Flávio, Ana, Luiz, Roberta e a todos que me ajudaram.

À Faculdade de Engenharia – UNESP do Campus de Ilha Solteira por toda orientação e formação profissional.

À CAPES, por proporcionar a Bolsa de Estudos para auxiliar no desenvolvimento das atividades.

RESUMO

Os sistemas de manejo de solo alteram as suas condições físicas e químicas para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A aplicação do gesso agrícola como condicionador de solo, reduz a saturação de alumínio e aumenta a quantidade de cálcio e enxofre em subsuperfície. Isto faz com que as raízes tenham acesso a maior volume de água e nutrientes, e conseqüentemente maior produtividade. O objetivo deste trabalho foi estudar as alterações de algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, na região de Chapadão do Sul (MS), cultivado com algodão na safra, sob sistemas de manejo do solo, com diferentes doses de gesso. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo utilizados como tratamentos, três preparos de solo e quatro doses de gesso (1000, 2000, 3000 e 4000 kg ha⁻¹) e uma testemunha, com quatro repetições. Nas parcelas principais os tratamentos com sistemas de preparo do solo, foram: preparo convencional (aração com arado de aiveca seguido de gradagem niveladora), cultivo mínimo (escarificação) e plantio direto (sem revolvimento do solo). Nas subparcelas estudaram-se as doses de gesso. Avaliou-se nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m, as seguintes propriedades físicas do solo: densidade do solo, volume de macroporos, microporos e porosidade total, e as propriedades químicas: P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, T, V%, m% e S-SO₄, sendo as amostragens realizadas em duas épocas, ou seja, antes e depois do cultivo do algodão. Os sistemas de manejo do solo não influenciaram as propriedades físicas do Latossolo da região do Chapadão do Sul, para as condições do estudo. As doses de gesso incrementaram os teores de S linearmente na profundidade de 0,05-0,20 m, por um período de 11 meses. Os sistemas de manejo do solo não afetaram a produtividade de algodão em caroço, porém, o cultivo mínimo e o preparo convencional obtiveram um incremento de produção de 7 % a mais do que o plantio direto.

Palavras-chave: *Gossypium hirsutum*. Plantio direto. Porosidade. Produtividade.

ABSTRACT

The management systems of soil affect its physical and chemical conditions for growth and development of plants. The application of gypsum as soil conditioner, reduces the aluminum saturation and increases the amount of calcium and sulfur in the subsurface. This causes the roots have access to larger volumes of water and nutrients, and consequently greater productivity. The objective of this work was to study the changes of some physical and chemical properties of an red Oxisol dystrophic clayey, in the region of Chapadão do Sul (MS), cultivated with cotton in the crop under soil management systems, with different rates of gypsum. The experimental design was randomized blocks with split plots being used as treatments, three soil tillages and four rates of gypsum (1000, 2000, 3000 e 4000 kg ha⁻¹) and a witness, with four repetitions. The main plots in treatments with soil tillage systems, were: conventional tillage (tillage with moldboard plow followed by disking leveling), minimum cultivation (scarification) and direct plantation (without soil disturbance). In Subplots was studied the rates of gypsum. Was evaluated at depths of 0-0.05, 0.20-0.40 m and 0.05 to 0.20, the following soil physical properties: soil density, macroporosity, microporosity, total porosity, and chemical properties: P, OM, pH, K, Ca, Mg, H + Al, Al, SB, T, V% m% and S-SO₄, being the samplings performed in two times, before and after the cultivation of cotton. The systems of soil management did not influence the physical properties of Oxisol in the region Chapadão do Sul, to the conditions of the study. The doses of gypsum increased the levels of S linearly in the depth of 0.05 to 0.20 m, for a period of 11 months. The systems of soil management did not affect the productivity of cotton in seed, however, minimum tillage and conventional tillage obtained a production increment of 7% more than the direct plantation.

Keywords: *Gossypium hirsutum*. Direct plantation. Porosity. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Dados pluviométricos mensais registrados entre outubro de 2007 a maio de 2008, período de condução do experimento na Fazenda São Caetano. Chapadão do Sul – MS, 2008.....23
- Figura 2.** Teores de Magnésio (Mg) na camada de solo 0,0 - 0,05 m em função de doses de gesso.....34
- Figura 3.** Teores de Cálcio (Ca) na camada de solo 0,20 - 0,40 m em função de doses de gesso.....39
- Figura 4.** Teores de Enxofre (S-SO₄) na camada de solo 0,05 - 0,20 m em função de doses de gesso.....47
- Figura 5.** Teores de soma de bases (SB) na camada de solo 0,20 - 0,40 m em função de doses de gesso.....51
- Figura 6.** Valores médios e produtividade de algodão em caroço, em kg ha⁻¹, para os tratamentos estudados. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resultados de análise química da amostra de solo na profundidade de 0,0 a 0,20 m (Chapadão do Sul – MS).....22
- Tabela 2.** Valores médios da macroporosidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....27
- Tabela 3.** Valores médios da microporosidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....28
- Tabela 4.** Valores médios da porosidade total do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....29
- Tabela 5.** Valores médios da densidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....30
- Tabela 6.** Valores médios da análise química do P no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....32
- Tabela 7.** Valores médios da análise química do Mg no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....33
- Tabela 8.** Desdobramento da interação entre doses de Mg na camada de 0,0 - 0,05 m, em função de sistemas de preparo e doses de gesso.....34

Tabela 9. Valores médios da análise química de cálcio (Ca) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	36
Tabela 10. Desdobramento da interação entre os teores de Ca na profundidade de 0,20 - 0,40 m, em função de sistemas de preparo de doses de gesso.....	38
Tabela 11. Valores médios da análise química de MO no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	40
Tabela 12. Valores médios de pH do solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	42
Tabela 13. Valores médios da análise química de K no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	43
Tabela 14. Valores médios de Al no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	45
Tabela 15. Valores médios de S-SO ₄ no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	46
Tabela 16. Teores médios de acidez potencial (H + Al) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	49

Tabela 17. Valores médios de soma de bases (SB) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	50
Tabela 18. Desdobramento da interação dos sistemas de preparo X doses de gesso entre os teores de SB na camada de 0,20 - 0,40 m.....	51
Tabela 19. Valores médios da capacidade de troca de cátions (T) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	52
Tabela 20. Valores médios de saturação de bases (V%) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	53
Tabela 21. Valores médios de saturação de alumínio (m%) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul – MS, 2007/08.....	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Cultura do Algodão	17
2.2	Sistemas de Manejo do Solo	18
2.3	Gesso agrícola e seus efeitos em atributos do solo.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1	Localização e Histórico da Área	23
3.2	Delineamento experimental e tratamentos empregados	24
3.3	Condução do experimento e caracterização física e química do solo	25
3.4	Análise dos dados.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	59
	ANEXO A – Vista da área experimental após a semeadura do algodão, safra 07/08	70
	ANEXO B – Vista geral de como foi realizada a coleta dos anéis volumétricos, safra 07/08	71
	ANEXO C – Vista geral da colheita do algodão realizada manualmente, safra 07/08	72

1 INTRODUÇÃO

A cultura do algodoeiro no Brasil ocupa uma área de aproximadamente 950 mil hectares, produzindo cerca de 1.200 mil toneladas de algodão em pluma na safra 2009/2010. A região Centro-Oeste é responsável por 62,6 % da produção nacional de algodão em pluma, seguida da região Nordeste com 34,53% e da região Sudeste com 2,5% (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2010).

Na agricultura moderna, Flowers e Lal (1998) estima-se que aproximadamente 68 milhões de hectares em todo o mundo estejam em processo de degradação devido à compactação, sendo o tráfego de máquinas agrícolas o maior responsável pelas causas de compactação em solos agrícolas. Esse problema tende a se intensificar em razão da tendência de aumento do tamanho dos implementos e potência das máquinas agrícolas, por permitir economia, trabalhar em larga escala, além de reduzir os custos de mão-de-obra (YAVUZCAN et al., 2005). Essa compactação promove alteração estrutural e reorganização das partículas do solo, causando o aumento da densidade e o decréscimo do volume de poros de maior diâmetro (DEXTER, 2004).

A redução de tráfego de máquinas e implementos agrícolas, a menor mobilização do solo, a inclusão de rotação de culturas e o uso de espécies vegetais para a formação de cobertura morta, aspectos inerente à adoção dos sistemas Plantio Direto e Cultivo Mínimo, são todos fatores que agem diretamente sobre a recuperação e conservação da estrutura e da fertilidade do solo, concorrendo para melhorar sua qualidade, além do que, os sistemas Plantio Direto e Cultivo Mínimo possibilitam um melhor manejo de água e semeadura em época mais adequada.

A conservação do solo consiste em dar o uso e o manejo adequado às suas características químicas, físicas e biológicas, visando à manutenção do equilíbrio ou recuperação. Por meio das práticas de conservação, é possível manter a fertilidade do solo e

evitar problemas comuns, como a erosão e a compactação. Para minimizar os efeitos causados pelas chuvas e também pelo mau aproveitamento do solo pelo homem, são utilizadas algumas técnicas de manejo e conservação dos solos.

Entre as diferentes técnicas de manejo e conservação do solo, tem-se o sistema plantio direto que vem sendo utilizado em maior área na Região Central do Brasil como a melhor alternativa em substituição ao preparo convencional do solo, no intuito de contribuir para a sustentabilidade de sistemas agrícolas, por manter o solo coberto por restos culturais ou por plantas vivas o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão, e por manter o teor de matéria orgânica (ALBUQUERQUE et al., 1995; CHAN et al., 1992) o que leva a maior retenção de água.

No plantio direto, a compactação tem sido constatada na camada superficial (ALVES; SUZUKY, 2004), sendo que em alguns locais, reduz a produtividade das culturas (LETEY, 1985). Efeitos mais pronunciados desse problema são observados quando o solo é cultivado sob sucessão de culturas.

Os sistemas de manejo de solo influenciam as condições físicas e químicas para o crescimento e desenvolvimento das plantas, Em sistemas com rotação de culturas e uso de plantas de cobertura, pode melhorar a qualidade química (BAYER; MIELNICZUK, 1997; BAYER et al., 1998), e com associação da aplicação do gesso agrícola como condicionador de solo, reduz a saturação de alumínio e aumenta a quantidade de cálcio e enxofre em subsuperfície, melhorando o ambiente do solo e propiciando o desenvolvimento das raízes em camadas mais profundas. Isto faz com que as raízes tenham acesso a maior volume de água e nutrientes, e conseqüentemente maior produtividade.

Estabelecer sistemas de manejo conservacionistas que objetivam a sustentabilidade desses solos é de grande interesse para a região. Nesse sentido, o plantio direto, quando conduzido adequadamente, pode possibilitar a preservação e melhoria da estrutura do solo. No processo de produção agrícola há necessidade que o solo esteja em condições físicas, químicas e biológicas adequadas para o desenvolvimento das plantas cultivadas.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo estudar as alterações de algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, na região do Chapadão do Sul (MS), cultivado com algodão, sob sistemas de manejo do solo, com diferentes doses de gesso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Até meados da década de 90, parte da área de Cerrado no Brasil era conduzido em sistema convencional de semeadura, assim utilizando revolvimento do solo em períodos que antecediam a semeadura, o que ocasionava grande perda de solo por erosão. Esta técnica está sendo paulatinamente substituído pelo sistema plantio direto e sistema de cultivo mínimo, onde se procura revolver o mínimo possível o solo.

Algumas alternativas econômicas para a melhoria de atributos químicos e físicos do solo visando o aumento da produção de grãos têm sido freqüentemente buscadas na agricultura. A adoção do sistema plantio direto no Brasil, no início da década de 1970, muito contribuiu para a melhoria de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pelo constante aporte de resíduos vegetais na superfície do solo, elevando em alguns casos os teores de matéria orgânica, a principal geradora de cargas elétricas negativas para os solos tropicais.

Os elevados índices de produtividade e a maior rentabilidade dependem fundamentalmente da capacidade produtiva dos solos (WUTKE et al., 2000). Assim, a associação de práticas agrícolas, tais como calagem, gessagem e adubação verde objetivam proporcionar modificações nos teores de nutrientes, na estrutura, na porosidade, na agregação e na densidade do solo, bem como na infiltração e disponibilidade de água, tendo em vista o adequado crescimento radicular da cultura. Além das práticas acima citadas, outras práticas de manejo de solos e de culturas, tais como o cultivo mínimo, plantio direto, adubação orgânica, dentre outras, têm sido recomendadas com o objetivo de reverter o processo de degradação física dos solos agrícolas (ANDREOLA et al., 2000).

A exploração de solos em regiões de Cerrado tem acontecido de forma intensiva nos últimos anos, no entanto, este agroecossistema é extremamente frágil, especialmente pela acidez superficial e em profundidade do solo. O calcário reduz sensivelmente a acidez superficial do solo (SOUZA et al., 2009), enquanto que a gessagem condiciona os elementos

do solo, favorecendo o crescimento vertical do sistema radicular. Deste modo, a calagem (CHAVES; FARIAS, 2008) e a gessagem (SALDANHA et al., 2007) são práticas necessárias na maior parte dos solos brasileiros.

No sistema plantio direto, a correção da acidez do solo é realizada por meio da aplicação de calcário na superfície, sem incorporação. O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quando aplicado na superfície, movimenta-se para as camadas do subsolo. Como resultado tem-se aumentado o teor de Ca e a redução da toxicidade do Al, favorecendo a penetração de raízes nas camadas subsuperficiais.

A aplicação de gesso na superfície do solo 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 do Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^{4+}) e da precipitação de Al^{3+} . Em casos de solos com concentração muito baixa de Al^{3+} trocável, mas com baixa concentração de Ca^{2+} trocável, o suprimento de cálcio é o principal fator responsável pelo melhor crescimento do sistema radicular. Além de ser utilizado para melhoria do ambiente radicular no subsolo, o gesso agrícola também pode ser empregado como fonte de Ca e S para as plantas. 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.

Borges et al. (1997a) observaram que doses elevadas de gesso, em solos com camada subsuperficial compactada, também promoveram efeito floculante no solo. Parte dessas observações foram confirmadas por Borges et al. (1997b), que trabalhando com solos compactados, observaram redução nos valores de densidade do solo, com o aumento das doses de gesso aplicadas.

Considerando-se que a recomposição física do solo, especialmente quanto à descompactação, não pode ser realizada apenas sob o ponto de vista mecânico (ROSA JUNIOR, 1994a, 1994b), objetivou-se, com seu trabalho, verificar o efeito do uso do solo, do calcário e do gesso sobre alguns atributos químicos (excetuando-se a movimentação de íons e lixiviação de bases) e físicos do solo.

2.1 Cultura do Algodão

O algodoeiro é uma das plantas fornecedoras de fibras vegetais mais antigas do mundo. As primeiras referências registram seu cultivo alguns séculos antes de Cristo. Os primeiros relatos no Brasil são da época do descobrimento, dos indígenas cultivando o algodão e o transformando em fios e tecidos (CANECHIO FILHO et al., 1972).

A sua produção se encontra em diversos países, e seus produtos apresentam grande importância econômica no grupo das fibras, pelo volume e valor da produção. Seu cultivo é também de grande importância social, pelo número de empregos que gera direta ou indiretamente (RICHETTI; MELO FILHO, 2001).

O cultivo do algodoeiro em plantio direto tem sido uma opção para integrar o sistema produtivo da agricultura no Cerrado. Apesar da fertilidade natural dos solos ser baixa, exigindo grandes investimentos em correção e fertilização, a topografia favorece a mecanização das áreas de semeadura e permite bom desenvolvimento do algodoeiro com obtenção de fibra de alta qualidade (TAKIZAWA; GUERRA, 1998).

As análises químicas iniciais da maioria dos solos do cerrado brasileiro, compreendendo principalmente os estados do MT, BA e MS, já indicavam alta deficiência em nutrientes minerais o que, a princípio, justificaria o intenso uso de adubos. No entanto, alguns resultados experimentais assinalam a possibilidade de se obterem altas produções em níveis de adubação inferiores aos predominantes em grandes lavouras típicas do cerrado (FORTUNA et al., 2001). Tais fatos, aliados à adaptação de novas cultivares, apontam para a necessidade de estudos experimentais na área de calagem e de nutrição. O objetivo primordial deve ser a obtenção de subsídios que contribuam para uma racional esquematização econômica da cultura do algodoeiro que, com certeza, será o fator determinante de sucesso na futura expansão da área de cultivo.

Além disso, pode melhorar também os aspectos de qualidade de fibra (SILVA et al., 1994). Segundo Yamaoka (1999), o cultivo do algodoeiro em larga escala, quando em monocultura é uma prática exigente em termos de nutrição do solo, práticas agrícolas adequadas e do local para cultivo. Considerando os fatores ambientais, algumas práticas de preparo do solo como arações tem provocado um desgaste muito grande do ponto de vista

físico, químico e biológico criando problemas de erosão, compactação, comprometimento da fertilidade, umidade, incidência de pragas e doenças.

Pesquisas mostram que a maior produtividade do algodoeiro no sistema plantio direto tem sido atribuída à manutenção de um maior teor de água no solo sob esse manejo. Além disso, outra grande vantagem é o controle da erosão do solo (CARVALHO et al., 2004). Na busca por um sistema que diminua a perda de solo e favoreça o aproveitamento da água, o plantio direto tem-se caracterizado por apresentar, principalmente na camada superficial, maior estabilidade estrutural, o que, aliado à manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, têm proporcionado maior proteção contra o impacto direto das gotas de chuva, favorecendo a infiltração e redução da perda de água por escoamento superficial (ROTH; VIEIRA, 1983).

2.2 Sistemas de Manejo do Solo

No processo de produção agrícola, há necessidade de que o solo esteja em condições físicas, químicas e biológicas adequadas para o desenvolvimento das plantas cultivadas (GUPTA; LARSON, 1982). O preparo do solo é uma das operações agrícolas na qual se procura alterar seu estado físico, químico e biológico, de forma a proporcionar melhores condições para o máximo desenvolvimento das plantas cultivadas. Todavia, sob a ação dos agentes climáticos, tais como chuvas e ventos, o solo pode perder parte de seus nutrientes por erosão, quando não é manejado corretamente e não esteja protegido por cobertura vegetal (DERPSCH, 1985).

Em 2005, a área cultivada sob plantio direto no mundo era de aproximadamente 97,8 milhões de hectares. Os Estados Unidos da América detinham a maior área cultivada nesse sistema, com 25,3 milhões de hectares (DERPSCH, 2005). No Brasil, a partir da década de 1990, houve expansão de forma exponencial da área cultivada sob plantio direto, a qual ocupa cerca de 25,5 milhões de hectares (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA- FEBRAPDP, 2006).

Dos diferentes tipos de sistemas de manejo do solo, tem-se: o sistema convencional que consiste no preparo intensivo do solo por meio do conjunto de operações de

máquinas agrícolas, como a aração (inversão do solo) e gradagem (homogeniza o solo, realizado quase sempre após uma aração). Entretanto, este sistema normalmente acelera o desgaste do solo podendo tornar a camada superficial compactada e extremamente pobre de matéria orgânica e exposta aos fatores de degradação dos solos (principalmente a erosão hídrica - escoamento superficial).

Já o sistema plantio direto compreende um conjunto de técnicas integradas que visa melhorar as condições ambientais (água-solo-clima) para explorar da melhor forma possível, o potencial genético de produção das culturas, o sistema possui três requisitos mínimos - não revolvimento do solo, rotação de culturas e uso de culturas de cobertura para formação de palhada, associada ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

Intermediário aos sistemas descritos anteriormente, uma alternativa é a adoção do cultivo mínimo, principalmente em solos que possui problema de compactação, diagnosticado ou com alta propensão para que o mesmo ocorra, fato comum aos Latossolos Vermelhos argilosos encontrados na região dos Chapadões, Sul Mato-grossense. O sistema de cultivo mínimo objetiva romper possíveis camadas compactadas ou apenas promover maior aeração do solo utilizando hastes ao invés de discos, com a mínima incorporação de palha possível.

Os diferentes sistemas de manejo do solo têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis (solo úmido - consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem levar a modificações da sua estrutura, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água e no desenvolvimento radicular das culturas, e, conseqüentemente, reduzir sua produtividade (DE MARIA et al., 1999).

Neste contexto, os sistemas de preparo do solo e o manejo dos resíduos culturais, além de oferecerem condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, fundamentam a sustentabilidade dos sistemas de produção nestes solos. A redução na movimentação do solo e a manutenção de resíduos culturais na superfície são práticas necessárias para o controle da erosão e para a redução da degradação do solo e do meio ambiente (LAL, 2000).

Esse fato assume maior importância ao se considerar, como afirmaram Russel e Russel (1964), que a baixa difusão de oxigênio e o acúmulo de CO₂ em solos compactados, são os responsáveis pela redução do sistema radicular e, conseqüentemente, da planta. Baver

et al. (1972) citaram que os poros de aeração, quando abaixo de $0,10-0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, são insuficientes para a expansão radicular. Essas considerações demonstram a necessidade de estudos mais detalhados sobre o efeito de práticas de manejo e de uso dos solos.

A compactação do solo tem sido verificada pelo aumento de sua densidade e da microporosidade, da diminuição da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade (SIDIRAS et al., 1984), sendo estas variações mais freqüentes em solos de textura argilosa (RAGHAVAN et al., 1977). Em trabalho mais recente, Stone e Silveira (2001) também afirmaram que o sistema plantio direto proporciona maiores valores de densidade e microporosidade, e, em conseqüência, menor porosidade total e macroporosidade. Os mesmos autores afirmam que a densidade do solo influenciou em diversos atributos do solo que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a saber: a aeração, a condutividade de água, o calor, a disponibilidade de nutrientes e a resistência à penetração do solo.

Na busca de melhorar a aeração do solo sem, no entanto, perder as características de sistema conservacionista, uma alternativa é a adoção do cultivo mínimo, objetivando a menor remoção de palha da superfície do solo possível e ao mesmo tempo, promovendo aeração do solo. Além disso, este sistema poderá possibilitar maior correção ou maiores teores de bases em camadas subsuperficiais (0,20-0,40 m) do solo, visto que possibilita maior infiltração de água.

2.3 Gesso agrícola e seus efeitos em atributos do solo

O gesso agrícola ou fosfogesso é originário da reação do ácido sulfúrico sobre a rocha fosfatada, a fim de se produzir ácido fosfórico. A quantidade de gesso produzida depende da composição da rocha fosfatada, podendo variar de 4,5 (PAOLINELLI et al., 1986) a 11 toneladas (ROBINSON et al., 1980) para cada tonelada de H_3PO_4 produzida. Anualmente, cerca de 4,5 milhões de toneladas de gesso são produzidas no Brasil (VITTI, 2000), gerando uma enorme quantidade desse subproduto nas proximidades dos locais de fabricação de ácido fosfórico. Isso é indesejável pelo efeito deletério que é provocado ao ambiente decorrente da alta concentração salina nas áreas adjacentes e do acúmulo de poeira

no ar (OATES; CALDWELL, 1985). Assim, tornou-se necessário estudar a composição do produto e propósitos para a sua aplicação na agricultura.

O gesso agrícola possui em sua composição cerca de 260 g kg⁻¹ de óxido de cálcio e 150 g kg⁻¹ de enxofre. Excluindo-se a água, o gesso agrícola contém baixo teor de impurezas, sendo a parte seca constituída de cerca de 950 g kg⁻¹ de sulfato de cálcio dihidratado (MALAVOLTA, 1992). Como impurezas, o gesso agrícola contém fósforo e flúor, sendo o primeiro benéfico para a nutrição vegetal e o segundo importante para a complexação de alumínio do solo.

O gesso agrícola não apresenta propriedades de corretivo de acidez do solo (RAIJ, 1988). Porém, Camargo e Raij (1989), Quaggio et al. (1993), Raij et al. (1994), Carvalho e Raij (1997) e Caires et al. (1999; 2002; 2003; 2004; 2006) mostraram aumento no pH do solo, principalmente em subsuperfície em função da aplicação do gesso. Como o gesso é um sal neutro, seu efeito na redução da acidez do solo pode ser explicado pelo mecanismo de “auto-calagem”, envolvendo uma reação de troca de ligantes, na qual a hidroxila (OH⁻) é substituída pelo SO₄²⁻ na superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio seguido pela precipitação do Al³⁺ como Al(OH)₃ na solução do solo (REEVE; SUMNER, 1972).

A correção da acidez do solo no sistema plantio direto é feita por meio de aplicação de calcário na superfície sem incorporação. A ação da calagem, nesse caso, pode se restringir às camadas superficiais do solo. Entretanto, a melhoria das condições químicas do subsolo é importante para o adequado desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a capacidade das plantas em explorar água e nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Ritchey et al. (1980), Noble et al. (1988) e Pavan e Bingham (1986) têm demonstrado a capacidade do gesso agrícola em reduzir a toxicidade do alumínio e aumentar a disponibilidade de Ca²⁺ trocável no subsolo, melhorando o desenvolvimento radicular em profundidade. Da década de 1980 até agora, muitas pesquisas com o uso do gesso agrícola foram desenvolvidas no mundo todo, tendo sido verificado que esse subproduto pode ser promissor em variadas condições de solo e clima, ocasionando melhoria nos atributos químicos do solo, na nutrição mineral das plantas e na produtividade de culturas.

A eficiência do gesso na melhoria dos efeitos da acidez no subsolo tem sido demonstrada em vários trabalhos (CARVALHO; RAIJ, 1997; MARSH; GROVE, 1992; OATES; CALDWELL, 1985). 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 (CARVALHO; RAIJ, 1997; SUMNER et al., 1986), em decorrência do aumento da concentração de Ca, da formação de espécies menos tóxicas de Al (AlSO_4^+) e da precipitação de Al^{3+} (SHAINBERG et al., 1989). O gesso agrícola mostra-se mais efetivo na redução da toxidez de Al do que o sulfato de cálcio (CAMERON et al., 1986).

A alternativa para a diminuição da ação do Al^{3+} em profundidade seria a aplicação superficial de gesso agrícola, por não exigir revolvimento do solo. O gesso é relativamente solúvel e, quando aplicado na superfície do solo, movimenta-se no perfil com a influência do excesso de umidade. Segundo os autores (CAIRES et al., 1998, 1999), há poucos relatos que integram o comportamento da correção do solo em superfície com a adoção da calagem, daí a dificuldade da correção da acidez em profundidade. A adoção de processos de gessagem e calagem, respectivamente, constituem importantes instrumentos para a melhoria das propriedades químicas em profundidade. A aplicação superficial do corretivo pode contribuir para a correção eficiente da acidez do solo (GATIBONI et al., 2003; PIRES et al., 2003).

Couto et al. (1979) e Pavan (1984) argumentam que o gesso agrícola não altera o pH e, portanto, não aumenta a capacidade de troca de cátions nos Latossolos, uma opção seria o seu uso como condicionador do solo. Isso também foi verificado por Rosa Junior et al. (1994), que concluíram que o uso do gesso aumentou a quantidade de agregados estáveis em água, maiores que 1,0 mm de diâmetro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e Histórico da área

O trabalho foi realizado na Fazenda São Caetano, situada a 18°46'472'' de latitude Sul (S), 52°38'397'' de longitude Oeste (W), numa altitude de 810 metros, no município do Chapadão do Sul, MS. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico argiloso (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA, 2006), e as características químicas do solo, estão apresentadas na tabela 1 (0,0-0,20 m com histórico de 8 anos, antes da instalação do experimento).

O histórico de cultivo da área experimental e os sistemas de rotação de culturas durante oito anos foram: soja, milho, algodão e milheto. Primeiramente, cultivo da soja na safra e do milho na safrinha, sendo o milheto semeado a lanço. Na safra seguinte, cultivo do algodão sobre massa seca do milheto, sendo que nos demais anos repetiu-se todo esse processo.

O talhão utilizado para realização do trabalho foi cultivado anteriormente sob plantio direto com a cultura da soja, na safra verão 2006/07 e posteriormente cultivado com milho safrinha. Na primavera de 2007 foi semeado milheto a lanço, com auxílio de grade niveladora para incorporação.

Tabela 1 - Resultados de análise química da amostra de solo na profundidade de 0,0 a 0,20 m. Chapadão do Sul – MS.

ANOS	pH	MO	P	K	Ca	MG	Al	H+Al	SB	T	V%	S
	CaCl ₂	g dm ⁻³	MG dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	
1999	4,8	30	22	1,0	23	10	2	45	34	79	43	7
2000	4,5	35	26	0,8	21	10	3	58	32	90	35	6
2003	4,8	29	20	1,4	29	8	2	38	38	76	51	6
2005	4,6	30	37	1,2	20	9	2	38	30	68	44	6
2007	4,9	35	25	1,7	20	7	2	42	29	71	40	5

MO: H₂SO₄; P, Ca, K: Resina; Al: KCl; H+Al: SMP; S: Ca(H₂PO₄)₂;

A distribuição pluviométrica durante a condução do experimento está apresentada na figura 1. A região apresenta médias de precipitação anual de 1820 mm, temperatura de 21,5°C e umidade relativa do ar de 63% (FUNDAÇÃO CHAPADÃO, 2009).

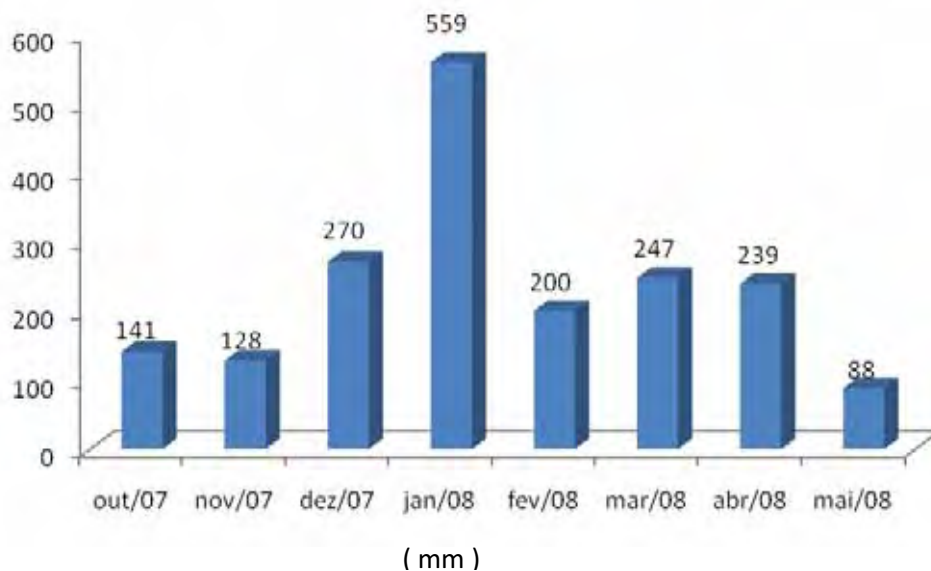


Figura 1. Dados pluviométricos mensais registrados entre outubro de 2007 a maio de 2008, período de condução do experimento na Fazenda São Caetano. Chapadão do Sul-MS, 2008.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos empregados

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, utilizando-se quatro repetições. As parcelas principais foram compostas pelos sistemas de manejo do solo: convencional – preparo com arado de aivecas fixas, com roda guia e grade niveladora de 16 discos, mobilizando o solo até 0,30 m; cultivo mínimo – utilização de escarificador com cinco hastes espaçadas em 0,25 m e, regulado para mobilizar o solo até a profundidade de 0,30 m e, plantio direto – sem revolvimento do solo. As subparcelas foram divididas em quatro doses de gesso, (1000, 2000, 3000 e 4000 kg ha⁻¹) e uma testemunha. As doses de gesso foram aplicadas a lanço em uma única etapa. No dia 09/11/2007 foram aplicadas as doses de gesso, realizada de forma manual e a lanço, e já no dia 12/11/2007 o solo foi preparado com os diferentes sistemas de manejo.

3.3 Condução do experimento e caracterização física e química do solo

O trabalho foi instalado no dia 07/11/2007, onde se realizou a demarcação da área experimental, delineando as parcelas e as subparcelas, e em seguida retirou-se amostras para as análises físicas e químicas do solo, para caracterização da área. Foram realizadas as avaliações físicas do solo no dia 07/11/2007, antes da implantação dos tratamentos e após a colheita do algodão, no dia 13/10/2008. Coletaram-se amostras indeformadas com anel volumétrico de 98,72 cm³, para determinação da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, em três profundidades: 0,0-0,05; 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m. A microporosidade foi determinada pelo método da mesa de tensão e correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de -0,006 MPa, após saturação; a porosidade total, pela saturação do volume da amostra, a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade, e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Foram realizadas também as coletas e avaliações químicas do solo, na mesma data 07/11/2007, antes da implantação dos tratamentos e após a colheita do algodão, no dia 13/10/2008. Avaliaram-se as condições químicas do solo, determinando-se: o pH em CaCl_2 e os teores de K, P, Ca, Mg, extraídos por resina e S- SO_4 extraído por Fosfato de Cálcio, MO, Al, (H+Al), além dos cálculos de SB, T, V% e m%, também realizado em três profundidades: 0-0,05; 0,05-0,20 e 0,20-0,40 m (EMBRAPA, 2009).

A calagem foi realizada em etapa única e na dose de 1200 kg ha^{-1} , em toda a área experimental. A composição granulométrica foi de: 267 g kg^{-1} de areia, 178 g kg^{-1} de silte e 555 g kg^{-1} de argila.

Na safra verão 2007/08, foi realizou-se a semeadura direta do algodão no início de dezembro de 2007, utilizando semeadora com sistema de distribuição de adubo tipo haste (facão). O espaçamento entre linhas foi de 0,8 m, com densidade de 10 sementes por metro de sulco. A cultivar utilizada foi a FMT 701, altamente responsiva e altamente produtiva.

A adubação de semeadura foi de 500 kg ha^{-1} da formulação 04-20-13 (fornecendo $20,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N + 102 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 61 kg ha^{-1} de K_2O). A adubação de cobertura foi realizada mecanicamente a lanço em três etapas: aos 25 dias após a emergência (DAE), 225 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20, aos 35 DAE 100 kg ha^{-1} de Sulfato de amônia e aos 45 DAE 225 kg ha^{-1} do formulado 20-00-20, totalizando 153 kg ha^{-1} de N; $44,57 \text{ kg ha}^{-1}$ de P; 93 kg ha^{-1} de K. Anterior ao estabelecimento da cultura foi realizado a aplicação de $2,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de B.

O manejo fitossanitário adotado foi de acordo com o monitoramento de pragas, doenças e plantas daninhas, utilizando tecnologia comumente empregada pelos produtores da região.

A unidade experimental adotada para cultura do algodão foi composta de 9 linhas de 12 m de comprimento, espaçadas de 0,8 m. Cada parcela teve as dimensões de $7,2 \times 12 \text{ m}$, desprezando-se 2,0 m em cada extremidade das linhas e desprezando as 2 linhas das bordaduras, perfazendo um total de 32 m^2 de área útil. Já no caso da cultura da soja, foi mantido o mesmo tamanho das parcelas, que apenas diferiu no espaçamento da cultura do algodão, que foi de 0,40 m nas entre linhas, mantendo-se o total de 32 m^2 de área útil para cada parcela.

Foi realizado o rendimento de algodão em caroço, sendo coletados manualmente todos os capulhos abertos, em uma única etapa, em 4 m localizados no centro da parcela, nas duas fileiras centrais, totalizando 8 m lineares. Então, o volume obtido foi levado ao

laboratório para quantificação de sua massa, na qual foi somada a massa determinada, e o valor total foi utilizado para estimar o rendimento por hectare.

3.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente por comparação das médias entre os tratamentos, com desdobramento das interações significativas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O teste foi empregado após a análise de variância e análise de regressão foi feita para todos os atributos. Para tanto utilizou-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios da macroporosidade do solo, nos três sistemas de manejo, obtidos antes e após o cultivo do algodão. Nenhuma diferença significativa foi observada para a macroporosidade entre os sistemas de preparo nas três profundidades. Esses resultados são concordantes com Almeida et al. (2008) que verificou valores de macroporosidade de 0,09, 0,09 e 0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no plantio direto para as profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, e 0,19, 0,07 e 0,13 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no preparo convencional. Já neste trabalho, os valores de macroporosidade na profundidade de 0,20-0,40 m foram inferiores, discordando dos resultados de Almeida et al. (2008) e, não só nesta profundidade, mas também na camada superficial, os valores encontram-se abaixo do limite considerado crítico para o bom desenvolvimento do sistema radicular, que é de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Provavelmente isto ocorreu principalmente na base da camada arável (0,0-0,20 m) que foi a 0,25 m, resultando no surgimento de uma camada compactada. Essa camada se forma mais rapidamente no solo com uso excessivo do equipamento de cultivo ou preparo em uma profundidade constante de aração e preparo com conteúdo de água acima do ponto de friabilidade.

Já para Carvalho et al. (2004), em anos anteriores aos de Almeida et al. (2008), verificaram valores de macroporosidade de 0,07, 0,07, 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para plantio direto nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m e 0,15, 0,07 e 0,12 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para preparo convencional. A compactação do solo tem sido verificada por meio do aumento da densidade do solo e microporosidade, da diminuição da porosidade total e, principalmente da macroporosidade (SOUZA; ALVES, 2003). Os valores de macroporosidade encontrados evidenciam a degradação do solo nas profundidades estudadas (até 0,40 m), pois de acordo com Kiehl (1979), um solo em condições ideais deve apresentar um terço da porosidade total

formada por macroporos e os dois terços restantes por microporos, estabelecendo uma relação macroporos/microporos igual a 0,5.

Com relação à macroporosidade nos sistemas de manejo estudados, nas duas épocas e nas três profundidades, os valores permaneceram praticamente constantes, não indicando alterações (negativas nem positivas) no tempo. Na área de Cerrado, por duas décadas com plantio direto, Oliveira (2002) observou que o tráfego de máquinas e a ausência de revolvimento promoveram aumento na estrutura do solo, principalmente na macroporosidade na profundidade de 0-0,05 m. Neste mesmo raciocínio, Assis e Lanças (2005), avaliando o plantio direto, observaram que, após 12 anos de uso, ocorreu aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade na camada de 0-0,05 m em relação ao preparo convencional.

Tabela 2 - Valores médios da macroporosidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo de algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	0,09	0,09	0,06	0,07	0,08	0,07
CM	0,09	0,10	0,07	0,07	0,10	0,08
PD	0,08	0,09	0,06	0,08	0,09	0,08
0	0,09	0,09	0,06	0,10	0,09	0,08
1000	0,08	0,10	0,07	0,06	0,09	0,08
2000	0,09	0,09	0,06	0,05	0,09	0,08
3000	0,10	0,09	0,06	0,05	0,09	0,08
4000	0,07	0,08	0,06	0,08	0,09	0,07
F (Manejo)	0,281	1,088	0,125	0,182	2,045	2,419
F (Doses)	0,458	0,893	0,723	1,556	0,231	0,408
F (MxD)	1,327	1,401	0,537	1,687	1,350	1,377
CV % (1)	50,52	61,62	44,28	97,34	31,49	60,63
CV % (2)	54,16	52,57	30,76	56,00	15,94	53,71
Média Geral	8,51	9,24	6,32	7,41	9,04	7,65

Para a microporosidade do solo, nos três sistemas de manejo do solo (Tabela 3) verificou-se que não houve diferença estatística entre os sistemas de manejo do solo nas três profundidades estudadas. Foi verificado por Almeida et al. (2008), valor de microporosidade de $0,30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para todas as profundidades, no plantio direto, e no preparo convencional valores de 0,28, 0,31 e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para as profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Carvalho et al. (2004), na mesma área estudada por Almeida et al. (2008), em anos anteriores, verificaram valores de microporosidade superiores no plantio direto. Já no presente trabalho obtiveram-se valores superiores aos apresentados pelos autores, em média $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, resultantes, provavelmente, de diferenças intrínsecas aos solos.

Tabela 3 - Valores médios da microporosidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	0,47	0,44	0,45	0,42	0,44	0,43
CM	0,44	0,43	0,45	0,42	0,43	0,41
PD	0,45	0,41	0,45	0,42	0,44	0,44
0	0,45	0,45	0,46	0,42	0,43	0,41
1000	0,45	0,42	0,45	0,45	0,44	0,43
2000	0,46	0,41	0,45	0,42	0,44	0,40
3000	0,45	0,42	0,45	0,41	0,44	0,45
4000	0,45	0,43	0,45	0,40	0,44	0,42
F (Manejo)	3,468	0,940	0,161	0,354	0,978	1,595
F (Doses)	0,080	0,949	0,299	1,582	0,343	1,447
F (MxD)	1,499	0,799	1,305	1,705	0,526	1,046
CV % (1)	6,37	27,15	4,84	10,19	8,64	21,79
CV % (2)	5,29	22,95	3,58	14,12	5,11	23,93
Média Geral	0,45	42,67	44,99	42,07	43,57	42,53

Para a porosidade total e densidade do solo (Tabelas 4 e 5) não houve diferença entre os sistemas de manejo e profundidades do solo estudadas, bem como entre as épocas de avaliação do solo. Analisando os valores da densidade do solo observa-se, de modo geral, que

os valores estão entre 1,00-1,25 kg dm⁻³, considerada faixa de amplitude para valores de densidade do solo para solos argilosos (KIEHL, 1979).

Tabela 4 - Valores médios da porosidade total do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Porosidade Total (m ³ m ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	0,56	0,53	0,51	0,49	0,52	0,50
CM	0,53	0,52	0,51	0,49	0,53	0,49
PD	0,53	0,50	0,51	0,50	0,53	0,52
0	0,54	0,54	0,51	0,52	0,52	0,49
1000	0,53	0,52	0,52	0,51	0,53	0,52
2000	0,55	0,50	0,51	0,47	0,53	0,48
3000	0,55	0,51	0,52	0,49	0,53	0,53
4000	0,52	0,51	0,51	0,48	0,53	0,49
F (Manejo)	3,726	1,175	0,068	0,162	0,530	1,821
F (Doses)	0,583	1,816	0,995	1,616	0,577	1,664
F (MxD)	1,569	1,310	1,829	1,118	0,503	1,436
CV % (1)	5,87	19,62	5,66	11,60	5,51	15,80
CV % (2)	7,23	17,65	4,03	11,43	4,66	20,24
Média Geral	0,54	0,52	51,31	0,49	0,53	0,50

Resultados verificados neste trabalho, com relação à porosidade e densidade do solo discordam dos verificados por Silveira et al. (2001) e Cruz et al. (2003). Os autores avaliando os efeitos de alguns sistemas de manejo do solo na densidade do solo e porosidade, concluíram que a maior mobilização do solo pelo arado de aiveca reduziu a compactação nas camadas mais profundas, em comparação à grade aradora, propiciando menor densidade do solo e maior volume de macroporosidade e porosidade total. Contudo, Stone e Silveira (2001) e Oliveira et al. (2003) observaram que a densidade do solo sob plantio direto pode diminuir com o passar dos anos, devido ao aumento da matéria orgânica na camada superficial, podendo melhorar inclusive a estrutura do solo. A divergência nos resultados está associada, provavelmente, ao tempo de influência do manejo ao solo estudado. Vale ressaltar que alguns

autores verificaram no primeiro ano de implantação de sistemas de manejo, o favorecimento do preparo convencional, na camada superficial, devido à mobilização do solo (ALVES et al., 2007; SOUZA; ALVES, 2003).

Tabela 5 - Valores médios da densidade do solo para os tratamentos e profundidades estudados, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Densidade do solo (kg dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	1,07	1,15	1,19	1,23	1,18	1,25
CM	1,15	1,10	1,21	1,18	1,16	1,20
PD	1,15	1,13	1,21	1,20	1,17	1,18
0	1,12	1,07	1,22	1,17	1,19	1,20
1000	1,14	1,12	1,20	1,20	1,18	1,22
2000	1,10	1,14	1,22	1,23	1,16	1,23
3000	1,10	1,15	1,19	1,20	1,16	1,17
4000	1,15	1,14	1,21	1,23	1,18	1,23
F (Manejo)	1,245	2,889	0,717	1,327	1,303	3,405
F (Doses)	0,471	2,628	0,645	1,865	0,938	1,868
F (MxD)	1,394	2,221	1,627	0,729	0,769	1,587
CV % (1)	5,40	9,81	5,33	14,02	3,36	11,36
CV % (2)	9,86	10,23	3,90	6,75	3,88	9,46
Média Geral	1,12	1,12	1,21	1,21	1,17	1,21

Considerando os valores de porosidade total e densidade do solo nesses três sistemas de manejo, em duas épocas diferentes e nas três profundidades, observou-se que o solo em estudo, pelo fato das alterações não terem sido significativas, provavelmente, possui alta capacidade de suporte e conseqüentemente alta resistência a deformações. Conforme relatado por Hall et al. (1994), em grau elevado de compactação, métodos mecânicos como escarificação ou subsolagem são necessários, mas a redução da compactação observada no primeiro ano após a mobilização não foi observado, sendo observada só no segundo ano. Após dois anos da escarificação de um Latossolo Vermelho sob plantio direto, Vieira e Klein (2007) não observaram diferenças na densidade do solo.

A compactação superficial do solo tem feito com que alguns agricultores da região do cerrado, e eventualmente, o arado e a grade aradora em suas áreas, até então manejadas sob plantio direto, promovendo a descompactação do solo, além de redistribuir melhor os nutrientes no perfil do solo. Segundo Silveira et al. (1998), tal procedimento não diminui o aspecto conservacionista do solo, já que a semeadura direta volta a ser empregada nos cultivos subsequentes.

Embora os efeitos benéficos do gesso como melhoria do ambiente radicular, em subsolos ácidos e pobres em cálcio, sejam reconhecidos e disseminados no Brasil, particularmente na região do Cerrado, há evidências de excessiva lixiviação de Mg e K com a utilização de doses elevadas de gesso, principalmente em solos de textura média e arenosa.

Para o algodoeiro, mais importante que elevar a saturação por bases da camada superficial do solo para valores acima de 50-60%, é aumentar a saturação por bases nas camadas de 0,20-0,40 a 0,40-0,60 m de profundidade, favorecendo o aprofundamento do sistema radicular nas camadas subsuperficiais. Para isso, a melhor opção é o uso do gesso, que por ser mais solúvel e mais móvel no solo que o calcário, apresenta a capacidade de aumentar os teores de cálcio e enxofre e diminuir a saturação por alumínio trocável nas camadas subsuperficiais do solo. Com isso, criam-se condições químicas mais favoráveis para o aprofundamento do sistema radicular, permitindo a exploração de maior volume de solo e maior absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Os dados observados para o P (Tabela 6) mostraram que não houve diferença significativa entre os valores obtidos antes e após a colheita da cultura, nos diferentes sistemas de preparo, doses de gesso e profundidades.

Segundo Queiroz (2005), os dados de P não significativos discordam em termos de profundidade de amostragem em todas as camadas avaliadas, que o teor de P obtido após a colheita da cultura, está próximo àquele obtido na amostragem inicial do solo.

Caires et al. (2003) demonstram em estudo que houve acentuada diminuição no teor de P, a partir da superfície do solo, ocorrência comum em sistema plantio direto, considerando a ausência de revolvimento, a liberação de P durante a decomposição dos resíduos de plantas e as aplicações anuais de fertilizantes fosfatados. As doses de gesso aumentaram linearmente os teores de P na camada superficial do solo (0-0,5 m), nos três anos de cultivo. Deve-se considerar que o fósforo contido no gesso agrícola, como impureza, pode ser importante na nutrição vegetal, no caso de aplicações de doses elevadas de gesso (SUMNER et al., 1986).

Tabela 6 - Valores médios da análise química do P no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após a cultura do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	P (mg dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	30,45	41,75	40,60	41,20	16,35	28,30
CM	35,70	39,20	46,40	47,15	6,25	24,10
PD	29	39,70	37,80	41,15	14,65	24,85
0	26,42	41,33	46	43,92	14,75	26,33
1000	34,83	38,92	46,25	47,58	12,83	25,50
2000	33,17	39,08	40,25	42,75	10,17	27,50
3000	28,92	41,08	37,17	35,92	12,75	21,92
4000	35,25	40,67	38,33	45,67	11,58	28
F (Manejo)	0,367	1,365	1,143	0,564	0,506	0,512
F (Doses)	1,588	0,590	0,798	0,466	2,788	0,925
F (MxD)	0,714	0,498	1,097	0,888	2,946	2,219
CV % (1)	82,01	12,86	44,11	47,59	273,69	58,31
CV % (2)	33,63	12,75	39,90	52,24	28,31	33,53
Média Geral	31,72	40,22	41,60	43,17	12,42	25,85

Estudos realizados por Costa et al. (2007) mostraram que a influência do sistema de cultivo sobre os valores médios de fósforo disponível, o que pode ser creditado à maior concentração do elemento nas camadas mais superficiais do solo, uma vez que esse elemento é praticamente imóvel no perfil do solo.

Além dos teores de P na solução do solo ter sido muito baixos, houve intensa associação desse nutriente com cátions, principalmente na primeira camada, em que somente no tratamento com ausência de gesso a proporção ocupada pela forma livre $H_2PO_4^-$ foi maior do que o fósforo solúvel combinado com o Al ($Al-H_xPO_4^x$). Com o aumento dos teores de Ca no solo após a gessagem, ocorreu maior deslocamento de Al do complexo de troca para a solução, incrementando a proporção ocupada pela espécie $Al H_xPO_4^x$. Entretanto, logo na segunda camada, mesmo com a gessagem, a forma livre $H_2PO_4^-$ foi predominante, o que se

estendeu para as camadas subjacentes. Essas espécies são importantes de serem conhecidas porque a atividade ou a concentração de íons fosfato na solução do solo e, portanto, a disponibilidade de fósforo aos vegetais, vai depender da proporção das diversas formas de P e do pH do sistema.

Na Tabela 7 o magnésio (Mg) presente na camada de 0-0,05 m avaliado após a colheita da cultura apresentou aumento, tanto para os sistemas de preparo quanto para doses de gesso. Pode-se dizer que esta variação foi devido à lixiviação por causa do íon sulfato, presente no gesso, e que se combinou com Mg, formando sulfato de magnésio. Nas demais profundidades não houve significância.

O teor de magnésio presente no solo foi influenciado significativamente pelo sistema de preparo do solo, na camada 0-0,5 m, depois da colheita.

Tabela 7 - Valores médios da análise química do Mg no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após a cultura do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Mg (mmol _c dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	13,40	10,20	7,15	3,07	3,55	6,65
CM	13,15	13,20	8,15	3,26	3,65	6,60
PD	15,05	12,60	7,45	3,00	3,35	5,15
0	13,25	13,25	7,08	3,20	3,17	6,25
1000	14,25	12,17	7,92	3,21	4,08	6,00
2000	14,25	12,33	8,67	3,09	3,67	5,50
3000	12,83	11,50	7,08	3,05	3,42	5,83
4000	14,75	10,75	7,17	3,01	3,25	7,08
F (Manejo)	1,104 ^{NS}	87,231 ^{**}	0,384 ^{NS}	2,084 ^{NS}	0,231 ^{NS}	2,979 ^{NS}
F (Doses)	0,935 ^{NS}	2,94 [*]	0,810 ^{NS}	0,612 ^{NS}	0,781 ^{NS}	1,257 ^{NS}
F (MxD)	0,580 ^{NS}	3,89 ^{**}	1,297 ^{NS}	0,962 ^{NS}	1,768 ^{NS}	1,445 ^{NS}
CV % (1)	31,70	6,33	48,83	13,08	40,44	35,99
CV % (2)	20,52	15,78	35,52	12,55	41,23	30,06
Média Geral	13,67	12,00	7,58	3,11	3,52	6,13

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{NS}- não significativo.

Na Tabela 8 e Figura 2, referente ao desdobramento da interação sistema de preparo X doses de gesso, significativo para o teor de Mg no solo na camada de 0,0-0,05 m, observa-se que em média para os três sistemas de preparo há uma diminuição do teor de Mg no solo, com o aumento da dose de gesso, o qual poderia ser em função da lixiviação do mesmo, devido a formação de par iônico com o sulfato, proveniente do gesso aplicado.

Tabela 8 - Desdobramento da interação entre doses de Mg na camada de 0,0–0,05 m, em função de sistemas de preparo e doses de gesso.

Sistemas / Doses	0	1000	2000	3000	4000
PC	11,50	9,75 b	10,25 b	9,50 b	10,00
CM	14,00	15,50 a	11,25 b	14,50 a	10,75
PD	14,25	11,25 b	15,50 a	10,50 b	11,50
Média	13,25	12,17	12,33	11,50	10,75
DMS (M x D)	2,98				

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

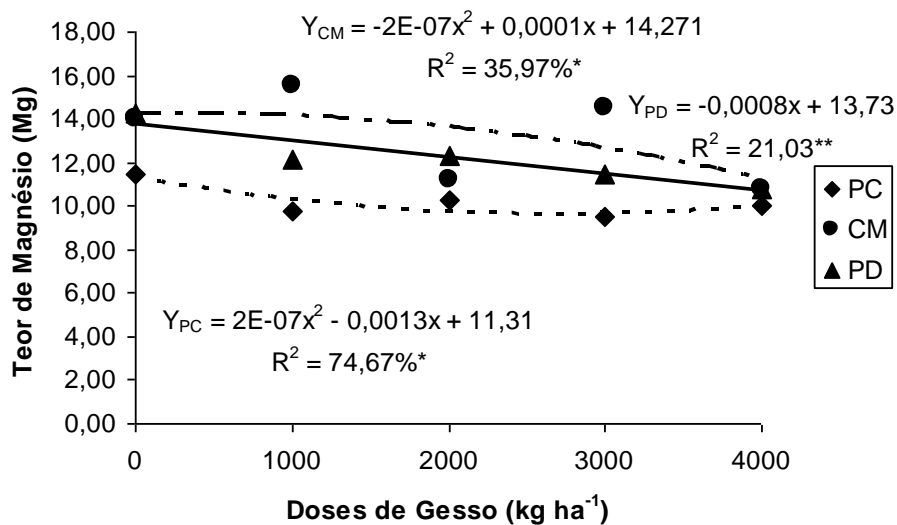


Figura 2. Teores de Magnésio (Mg) na camada de solo 0,0 – 0,05 m em função de doses de gesso.

Os valores encontrados no solo em amostragem após o cultivo do algodão são bastante semelhantes aos obtidos na amostragem antes da instalação do experimento. A ausência de aplicação de calcário pode explicar a baixa variação de magnésio durante a condução deste experimento, sendo este a principal fonte de Mg para os solos.

Estes dados concordam com Queiroz (2005) o qual não observou aumento de teor de Mg em profundidade, encontrando maiores teores desse elemento nas camadas superficiais quando se aplicou gesso em superfície.

Com a aplicação de gesso aumenta-se a disponibilidade de Ca^{2+} no perfil do solo. O aumento deste favorece o deslocamento de Mg^{2+} e K^+ , e estes ao se ligarem com o sulfato são lixiviados para camadas mais profundas. Porém, após 7,5 anos da aplicação de gesso, houve apenas uma pequena diminuição de Mg^{2+} trocável na profundidade de 0,10-0,20 m (BLUM, 2008). Caires et al. (1999) comentam que a aplicação de gesso, em combinação com o uso de calcário dolomítico, pode melhorar a distribuição do magnésio proveniente do calcário no perfil do solo. Porém, dependendo da dose de gesso e do tempo decorrido de sua aplicação, o gesso pode ocasionar intensa lixiviação de Mg^{2+} trocável em todo o perfil do solo, mesmo quando combinado com a aplicação de calcário dolomítico (CAIRES et al., 1999).

Caires et al. (2003) observaram que após oito meses, houve redução de Mg trocável nas camadas superficiais do solo e aumento nas concentrações do nutriente em camadas do subsolo, com a aplicação de gesso. Após 32 meses, o gesso continuou promovendo lixiviação de Mg^{2+} em maiores profundidades. A lixiviação de Mg trocável tem sido uma resposta freqüente nos estudos com aplicação de gesso em solos. Assim, quando o gesso é aplicado em doses elevadas no solo, devem ser desenvolvidas estratégias para minimizar as perdas de Mg trocável. Nesse caso, a aplicação de calcário dolomítico, em dose parcelada na superfície, poderia trazer maiores benefícios, por garantir maiores teores de Mg trocável na camada superficial do solo.

Em estudo realizado por Blum (2008), na instalação do experimento o solo apresentava alto teor de Mg^{2+} trocável na profundidade de 0,0-0,20 m e, após a realização da calagem superficial, os teores de Mg^{2+} trocável no solo foram aumentados. O aumento do Mg^{2+} no solo favoreceu a lixiviação do nutriente das camadas superficiais do solo pela formação do par iônico com o sulfato proveniente da aplicação do gesso (CAIRES et al., 2002). A lixiviação de Mg^{2+} trocável foi observada com maior intensidade aos 8, 20 e 32 meses após a aplicação de gesso (CAIRES et al., 2003), mas esse efeito foi constatado até os 55 meses da aplicação (CAIRES et al., 2006).

Na tabela 9, observou-se que os teores de cálcio (Ca) aumentaram no perfil do solo entre 0,20-0,40 m, tanto para manejo quanto para doses de gesso, podendo ser explicado pelo aumento das dosagens de gesso, já que este é uma fonte de Ca^{2+} . Na profundidade de

0,20-0,40 m foi encontrado um aumento que pode ser explicado pela lixiviação do íon Ca^{2+} até camadas mais profundas no solo. Na interação manejo x doses presente na tabela 10 e figura 04, havia certa uniformidade em média até 3000 kg ha^{-1} , sendo que depois, houve um aumento do cálcio para a dose de 4000 kg ha^{-1} , principalmente nos sistemas de cultivo mínimo e o plantio convencional que pode ser explicado pelo aumento da macroporosidade e porosidade total devido a subsolagem e o arado de aiveca em cada um dos preparos respectivamente, levando o cálcio a maiores profundidades no perfil quando em maiores dosagens, dado este que não foi obtido pela análise física do solo, que neste estudo não encontrou diferença estatística para macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Para as camadas superficiais não houve significância.

Tabela 9 - Valores médios da análise química de cálcio (Ca) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após a cultura do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Ca ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	44,85	45,45	33,30	41,20	9,80	28,00
CM	45,10	51,40	33,90	40,95	9,20	23,20
PD	47,95	52,30	32,90	37,75	10,25	21,90
0	44,67	47,17	32,75	40,00	8,25	23,92
1000	46,25	51,08	32,42	40,17	11,92	23,25
2000	46,00	50,92	35,83	41,17	9,17	22,33
3000	46,08	48,25	33,00	39,00	10,33	23,25
4000	46,83	51,17	32,83	39,50	9,08	29,08
F (Manejo)	1,264 ^{NS}	1,704 ^{NS}	0,031 ^{NS}	0,796 ^{NS}	0,493 ^{NS}	5,854 [*]
F (Doses)	0,293 ^{NS}	1,464 ^{NS}	0,374 ^{NS}	0,149 ^{NS}	1,351 ^{NS}	4,341 ^{**}
F (MxD)	0,611 ^{NS}	1,409 ^{NS}	1,717 ^{NS}	0,506 ^{NS}	0,876 ^{NS}	2,448 [*]
CV % (1)	14,90	25,65	38,02	24,12	34,42	24,37
CV % (2)	11,80	10,80	23,67	18,22	43,42	18,40
Média Geral	45,97	49,72	33,67	39,97	9,75	24,37

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{NS}- não significativo.

O aumento da quantidade de cálcio em maiores profundidades discorda dos estudos realizados por Queiroz (2005), o qual verificou que independentemente da profundidade, os teores de cálcio no solo aumentaram com maior concentração nas camadas superficiais, principalmente onde houve aplicação de gesso.

Caires et al. (2003) demonstrou que a aplicação de gesso aumentou os teores de Ca trocável do solo nas cinco profundidades estudadas, independentemente dos tratamentos de calagem. O aumento do Ca trocável no perfil do solo com o uso de gesso foi mais pronunciado aos oito meses de sua aplicação na superfície, sendo nítida a lixiviação do nutriente com a maior dose de gesso aplicada (9000 kg ha^{-1}), após 32 meses. O gesso causou intensa movimentação de Mg trocável no solo, proporcional à elevação dos teores do nutriente pela aplicação de calcário dolomítico na superfície, com ou sem parcelamento, e com incorporação.

Pesquisas realizadas por Costa et al. (2007) demonstraram que os teores de cálcio e magnésio diminuíram linearmente em função da profundidade da amostra do solo, mas não foram influenciados pelo uso do gesso agrícola, nem pelos sistemas de manejos. O fato de o gesso não ter influenciado o teor de cálcio está em desacordo com alguns autores (CAIRES et al., 2003; MORELLI et al., 1992), pois estes relatam que o gesso tem a capacidade de aumentar o teor de cálcio no solo.

Blum (2008) demonstrou que o teor de Ca^{2+} trocável aumentou por tonelada de gesso aplicado, em diferentes profundidades, e o teor de Mg^{2+} trocável foi reduzido, aumentando a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ do solo, após 7,5 anos da aplicação de gesso.

O gesso agrícola fornece cerca de $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio para cada tonelada aplicada no solo. Portanto, aumentos de Ca^{2+} trocável são frequentemente observados, em estudos com gesso. Contudo, a duração do efeito é diferenciada, dependendo da dose aplicada e do tipo de solo.

Quaggio et al. (1993) verificaram que após 18 meses da aplicação de 6000 kg ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho Escuro endoeutrófico, quase todo o Ca^{2+} trocável havia sido lixiviado para profundidades maiores que 0,60 m. Caires et al. (2002) verificaram que após 24 meses da aplicação de 12000 kg ha^{-1} de gesso em um Latossolo Vermelho textura média, 40% do Ca^{2+} trocável foi lixiviado para profundidades maiores que 0,80 m e que 75% do Ca^{2+} remanescente foi encontrado na camada do subsolo (0,20-0,80 m). A velocidade com que o cálcio proveniente do gesso se desloca para as camadas inferiores no perfil é dependente do tipo de solo, do nível de acidez e da precipitação pluvial.

O aumento de Ca^{2+} trocável por meio da aplicação de gesso favorece o deslocamento Mg^{2+} e K^+ trocáveis para a solução do solo (NOGUEIRA; MOZETO, 1990). Estes, ao se ligarem com o sulfato são lixiviados para camadas mais profundas do solo, concordando com os resultados aqui apresentados para o Mg.

O gesso por ser de sulfato pode ser facilmente lixiviado para camadas subsuperficiais do solo levando consigo potássio, cálcio, magnésio e alguns micronutrientes. Em solos pobres de cerrado esta propriedade do gesso tem sido aproveitada para melhorar o desenvolvimento radicular das culturas, o qual, com o quimiotactismo positivo das raízes das plantas (crescimento das raízes em direção aos nutrientes minerais), favorecem o aproveitamento de água e nutrientes em maior volume de terra (EMBRAPA, 1998).

Os dados de aumento de Ca e Mg em profundidade concordam com Kusman et al. (2002), os quais observaram que o gesso elevou os teores de Ca^{2+} em todo o perfil do solo e S-SO_4^{2-} , principalmente no subsolo (0,40- 0,80 m) e ocasionou lixiviação de Mg^{2+} .

Na tabela 10 e figura 3, referente ao desdobramento da interação sistema de preparo X doses de gesso, significativo para o teor de Ca no solo na camada de 0,20-0,40 m, observa-se que em média para os três sistemas de preparo há um aumento do teor de Ca no solo, com o aumento das doses de gesso, e no caso do cultivo mínimo e plantio convencional, com o aumento da doses de gesso maior será o teor de Ca no solo.

Tabela 10 - Desdobramento da interação entre os teores de Ca na profundidade de 0,20 – 0,40 m, em função de sistemas de preparo e doses de gesso.

Sistemas / Doses	0	1000	2000	3000	4000
PC	26,25	25,50	23,75	28,75 a	35,75 a
CM	24,75	19,50	19,50	22,50 ab	29,75 ab
PD	20,75	24,75	23,75	18,50 b	21,75 b
Média	23,92	23,25	22,33	23,25	29,08
DMS (M x D)	8,33				

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

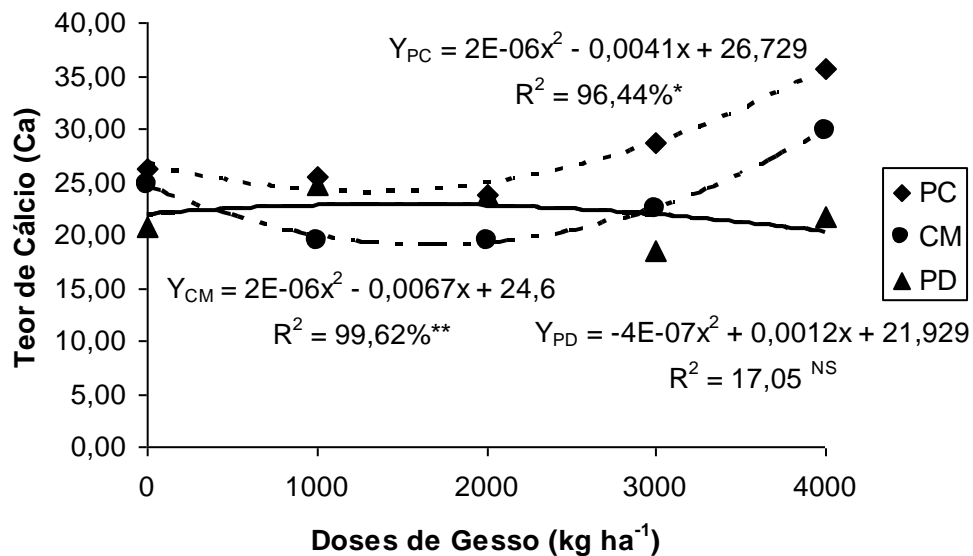


Figura 3. Teores de Cálcio (Ca) na camada de solo 0,20 – 0,40 m em função de doses de gesso.

Na Tabela 11 encontram-se os resultados para a matéria orgânica (MO). Onde se observa que as doses de gesso e preparo de solo não influenciaram nos teores existentes no solo, não havendo diferença significativa em nenhuma das profundidades pelo teste de Tukey a 5%.

Queiroz (2005) obteve maiores valores de MO em camadas superficiais, no sistema de plantio direto, pois no mesmo não há movimentação de solo. O mesmo pode ser verificado para o sistema de cultivo mínimo, onde a subsolagem movimenta pouco o solo e pode ser considerada como um preparo vertical. Sendo assim, os resíduos vegetais serão mantidos em sua maioria na superfície do solo, onde após decomposição, transformar-se-ão em matéria orgânica.

Resultados obtidos por Blum (2008) mostram que o teor de C-orgânico diminuiu ao longo do perfil do solo. No sistema de plantio direto ocorre constante deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e a decomposição desses resíduos é bem menos acentuada, quando comparada com o sistema convencional de preparo do solo. Houve correlação negativa entre os teores de C-orgânico e o valor de ΔpH do solo. Isso mostra que o aumento no ΔpH que ocorre a partir da superfície em direção ao subsolo foi ocasionado pela redução do teor de C-orgânico. Apesar do baixo coeficiente de determinação obtido entre essas duas variáveis, é inquestionável a contribuição da matéria orgânica na geração de cargas elétricas negativas e, conseqüentemente, no aumento da CTC de solos tropicais. Esses resultados concordam com as observações de Raij (1988) de que a matéria orgânica contribui

na geração de cargas elétricas negativas de solos tropicais em 74% na superfície do solo, em 58% nos horizontes A2 e A3, e em 47% no horizonte B1.

Tabela 11 - Valores médios da análise química de MO no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após a cultura do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	MO (g dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	45,40	43,80	41,75	40,60	29,25	34,30
CM	45,85	44,35	40,70	37,95	27,35	31,15
PD	47,10	46,05	40,60	44,50	28,25	34,15
0	44,58	43,08	39,17	39,83	26,92	34,50
1000	46,92	46,42	40,42	41,17	29,08	33,92
2000	45,92	44,58	41,92	39,83	28,42	32,17
3000	46,92	45,08	43,25	44,25	28,25	32,75
4000	46,25	44,50	40,33	40	28,75	32,67
F (Manejo)	1,846	0,789	0,281	3,827	0,665	3,467
F (Doses)	1,357	0,636	2,301	0,878	0,647	1,260
F (MxD)	0,615	1,283	1,985	0,964	0,318	2,448
CV % (1)	6,29	13,21	13,11	18,36	18,42	12,86
CV % (2)	6,19	11,65	8,82	17,05	12,62	9,01
Média Geral	46,12	44,73	41,02	41,02	28,28	33,20

Estudos realizados por Rosa Junior et al. (2006) com calagem e gessagem, sobre a variação dos teores da matéria orgânica do solo (MOS), para cada dose de calcário utilizada, em função dos usos de solo e das doses de gesso estudadas, mostraram que os maiores valores de MOS foram obtidos quando se realizou calagem para elevar a saturação por bases a 100%, e com o uso da dose de 1000 kg ha⁻¹ de gesso. Isso pode ter ocorrido pela ação de agregação, o que melhora as condições da microvida e aumenta a MOS decorrente da biomassa microbiana. Nos tratamentos que receberam doses de calcário para elevar a saturação de bases a 100%, os teores de matéria orgânica do solo foram influenciados significativamente (p<0,05) apenas nas amostras de solo sob vegetação nativa. Com o aumento das doses de

calcário utilizadas, obtiveram-se maiores valores de matéria orgânica nos materiais de solo sob culturas anuais e pastagens.

Com relação ao pH (Tabela 12), o solo apresentou baixa acidez, tendo um valor em CaCl_2 igual a 4,9 em todo o perfil. Isso ocorreu devido ao manejo dado pela Fazenda São Caetano. Ao longo dos anos a ação do calcário aplicado na superfície proporcionou correção da acidez nas camadas superficiais e do subsolo, conforme também verificado em outros trabalhos (CAIRES et al., 1998, 2003; PAVAN, 1984).

O fator manejo para camada de 0,20-0,40 m também não obteve diferença significativa, mas o aumento de pH em subsuperfície pode ser explicado em uma reação de troca de ligantes, na qual a hidroxila (OH^-) é substituída pelo íon sulfato na superfície dos óxidos hidratados de ferro e alumínio, seguida pela precipitação do Al^{3+} como $\text{Al}(\text{OH})_3$ na solução do solo (REEVE; SUMNER, 1972). O aumento do pH no subsolo, por meio da aplicação de gesso, também foi verificado em outros trabalhos (CAIRES et al., 1999; CARVALHO; RAIJ, 1997). Para as camadas superficiais e doses de gesso não houve diferença significativa.

Destaca-se que o aumento no pH do subsolo com a aplicação de gesso tem sido de pequena magnitude – de até 0,2 unidades (CAIRES et al., 2002, 2003, 2004, 2006), e que esse efeito não permanece após longo período de adição de gesso na superfície.

Segundo Caires et al. (1998), uma alternativa para a correção de subsolo ácido é aplicação superficial de gesso agrícola onde mesmo sem incorporação e pelo fato de o gesso ser relativamente solúvel, o gesso pode movimentar no perfil do solo, com influência do excesso de umidade. Quando alcança o subsolo, o gesso aumenta o suprimento de cálcio e reduz a toxicidade de Al^{3+} , propiciando melhoria do subsolo e probabilidade de crescimento radicular nessa camada, permitindo maior eficiência na obtenção de água e nutrientes.

De acordo com Santos (2009) na gessagem, observou-se que o pH não diferenciou ($p > 0,05$) em relação às camadas avaliadas. Esses resultados foram obtidos em função do gesso apresentar alta solubilidade, movimentando-se ao longo do perfil sob influência do excesso de umidade (SUMNER, 1995). Por ser subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, o gesso agrícola é comercializado a baixo custo, e por isso é mais acessível. Após a aplicação de gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), não se espera a elevação do pH, mas ocorre a diminuição do teor de alumínio tóxico, que pode eliminar também a toxidez de sódio, além de ser fonte de dois macronutrientes secundários: Ca e S (enxofre).

Tabela 12 - Valores médios de pH do solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

pH (CaCl₂)						
Sistemas de Preparo	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	4,92	4,83	4,59	4,75	4,19	4,56
CM	4,93	4,95	4,66	4,81	4,22	4,55
PD	4,98	4,95	4,55	4,69	4,16	4,42
0	4,87	4,89	4,58	4,72	4,15	4,50
1000	4,96	4,92	4,62	4,76	4,28	4,49
2000	4,98	4,93	4,65	4,77	4,17	4,48
3000	4,93	4,87	4,56	4,71	4,16	4,48
4000	4,94	4,93	4,58	4,78	4,18	4,60
F (Manejo)	0,235 ^{NS}	2,124 ^{NS}	0,596 ^{NS}	1,669 ^{NS}	1,249 ^{NS}	1,876 ^{NS}
F (Doses)	0,556 ^{NS}	0,556 ^{NS}	0,300 ^{NS}	0,508 ^{NS}	1,434 ^{NS}	1,465 ^{NS}
F (MxD)	0,663 ^{NS}	0,588 ^{NS}	1,083 ^{NS}	1,051 ^{NS}	1,876 ^{NS}	1,133 ^{NS}
CV % (1)	6,0	4,15	7,30	4,56	3,11	3,27
CV % (2)	3,78	2,58	4,89	3,49	3,79	3,25
Média Geral	4,94	4,91	4,60	4,75	4,19	4,51

Na Tabela 13 encontram-se os resultados para K (potássio). Verifica-se que não houve significância para nenhum dos diferentes manejos do solo, nas diferentes dosagens de gesso e nas diferentes profundidades.

Os resultados concordam com estudos de Blum (2008), os quais mostraram que as doses de gesso não influenciaram os teores de K trocável do solo nas cinco profundidades estudadas. A lixiviação de K tem sido bem menos estudada que a de Mg²⁺ com o uso de gesso porque a formação do par iônico de K⁺ com SO₄²⁻ ocorre em muita baixa proporção.

Os resultados obtidos por Queiroz (2005) mostraram que os teores de K no solo diferiram estatisticamente apenas quanto ao sistema de preparo do solo e profundidade de amostragem, apresentando, na área com plantio direto e nas camadas mais superficiais, os maiores valores. Apesar de não ter sido comprovado estatisticamente, observou-se neste estudo, que em termos de profundidade de amostragem que na maioria das camadas avaliadas,

houve aumento no teor de K, em relação à amostragem inicial do solo, principalmente nas camadas mais profundas (0,10-0,20 e 0,20-0,40 m).

Tabela 13 - Valores médios da análise química de K no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	K (mmol _c dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	3,03	5,36	1,62	1,88	0,86	2,07
CM	3,78	5,93	2,12	2,10	1,12	1,71
PD	3,90	5,61	2,06	1,81	1,00	1,68
0	3,05	5,86	1,69	2,20	0,87	2,60
1000	4,06	5,63	2,33	1,81	1,23	1,38
2000	3,93	6,33	2,04	1,93	1,02	1,89
3000	3,28	4,82	1,66	1,93	0,88	1,78
4000	3,53	5,53	1,93	1,78	0,98	1,44
F (Manejo)	1,264	0,656	1,234	1,780	2,544	0,543
F (Doses)	1,129	1,799	1,580	1,973	2,132	1,054
F (MxD)	0,626	1,565	0,763	1,132	0,581	1,162
CV % (1)	52,53	28,25	56,66	26,28	36,04	72,99
CV % (2)	39,0	25,32	39,44	21,36	23,89	90,71
Média Geral	3,57	5,63	1,93	1,93	0,99	1,82

Em resultados obtidos por Costa et al. (2007), os teores de K entre todos os tratamentos não diferiram estatisticamente. Apenas ocorreu um aumento do teor desse elemento no solo em todos os tratamentos, provavelmente devido às adubações realizadas nos dois anos de cultivo e à redução com o aumento da profundidade. Ernani (1986) também relatou que até a dose de 32000 kg ha⁻¹ de gesso o teor de K trocável não foi afetado, ao contrário do que foi observado por outros autores (QUAGGIO et al., 1993).

Nogueira e Mozeto (1990) verificaram aumento de Mg e K solúveis no solo, com a aplicação de gesso, devido ao deslocamento provocado pela adição de cálcio nos sítios de troca. Estes íons formam pares com o sulfato, lixiviando para as camadas mais profundas do solo.

A lixiviação de K com a aplicação de gesso também podem ocorrer dependendo do tipo de solo (RITCHEY et al., 1986). A calagem pode contribuir para a diminuição na lixiviação de K, mas não elimina o efeito propiciado pelo gesso. Destaca-se, porém, que a lixiviação de K tem sido bem menos pronunciada que a lixiviação de Mg nos solos (CAIRES et al., 2004, 2006; QUAGGIO et al., 1993; RAIJ et al., 1994; SILVA et al., 1994).

A análise estatística do alumínio (Al) (Tabela 14), para sistema de preparo do solo, doses de gesso não mostrou diferença estatística. Efeitos do gesso na redução dos teores de Al^{3+} trocável têm sido observados quando o solo apresenta teores mais elevados do elemento (CAIRES et al., 1998; FARINA; CHANNON, 1988).

Estes resultados concordam com os de Blum (2008), onde as doses de gesso aplicadas em 1998 não influenciaram os teores de Al^{3+} trocável do solo após 7,5 anos, nas cinco profundidades estudadas respectivamente de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. No mesmo estudo depois de 1,5 anos da reaplicação de 6000 kg ha^{-1} de gesso observou-se redução da saturação por Al^{3+} das camadas subsuperficiais do solo (0,20-0,40 m). A redução na saturação por Al^{3+} com o uso de gesso pode ocorrer devido ao aumento de Ca^{2+} trocável e à redução de Al^{3+} trocável no solo (FARINA; CHANNON, 1988). Tal efeito foi ocasionado pelo aumento de Ca^{2+} trocável, em vista de o teor de Al^{3+} trocável não ter sido influenciado pela reaplicação de gesso.

Santos (2009) observaram que o gesso contribuiu para a diminuição dos teores de Al^{3+} nas camadas subsuperficiais. Para que ocorra a lixiviação de cátions, é necessário que haja no solo íons acompanhantes, como o cloreto, sulfato, nitrato, bicarbonato, etc. Sendo esse um dos motivos que explicam a baixa mobilidade no solo de Ca aplicado na forma de carbonato, já que o ânion CO_3^{2-} reage com o H^+ formando CO_2 , que evolui para a atmosfera. Trinta dias após a aplicação superficial do gesso em superfície de solo, já se observou elevação do pH em $CaCl_2$, dos teores de cálcio trocável e de magnésio trocável e diminuição do alumínio trocável. A redução nos teores de alumínio trocável, com o uso das doses de gesso, possivelmente ocorreu pela lixiviação de SO_4^{2-} no perfil do solo, condicionando a eliminação de Al trocável por meio da formação do $AlSO_4^+$ (SALDANHA et al., 2007). Também, pode ter ocorrido formação do $Al(OH)_3$ pela liberação de OH^- por troca de ligantes pelo SO_4^{2-} na superfície das partículas dos óxidos e hidróxidos do solo.

Segundo Caires et al. (1998), uma alternativa para a correção de subsolo ácido é aplicação superficial de gesso agrícola onde mesmo sem incorporação e pelo fato de o gesso ser relativamente solúvel, o gesso pode movimentar-se no perfil do solo, com a influência do

excesso de umidade. Quando alcança o subsolo, o gesso aumenta o suprimento de cálcio e reduz a toxicidade de Al^{+3} , propiciando melhoria do subsolo e probabilidade de crescimento radicular nessa camada, permitindo maior eficiência na obtenção de água e nutrientes. Queiroz (2005) relata que no solo utilizado em seu estudo, obtiveram-se baixos teores de alumínio aliado ao fato de no ano agrícola 2003/2004 ter-se baixa precipitação, isto, provavelmente levou a não influência da aplicação de gesso nos teores de H+Al e Al em profundidade, diferente dos resultados obtidos no presente trabalho que obteve altas precipitações, em torno de 1870 mm.

Tabela 14 - Teores médios de Al no solo para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	Al ($mmol_c\ dm^{-3}$)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	1,80	1,55	3,30	2,30	7,85	3,90
CM	1,70	1,90	3,30	2,60	7,65	4,30
PD	1,45	1,40	4,00	2,75	8,05	5,05
0	1,83	1,58	3,75	2,42	7,83	4,08
1000	1,58	1,83	3,50	2,92	6,92	4,50
2000	1,58	1,50	3,25	2,25	8,50	4,83
3000	1,67	1,75	3,50	2,75	8,08	4,92
4000	1,58	1,42	3,67	2,42	7,92	3,75
F (Manejo)	4,034	1,591	0,735	0,425	0,184	1,945
F (Doses)	0,797	0,368	0,147	0,674	0,832	1,102
F (MxD)	0,727	0,496	0,653	0,926	2,027	1,415
CV % (1)	24,33	56,28	59,67	61,66	26,59	42,39
CV % (2)	25,55	61,08	48,97	45,33	28,13	37,09
Média Geral	1,65	1,62	3,53	2,55	7,85	4,42

Observou-se na Tabela 15 que o teor de enxofre (S) presente nas camadas de 0,05-0,20 m, após a colheita do algodão, aumentou conforme as doses de gesso, o que não ocorreu para os sistemas de preparo. Pode-se dizer que esta variação após o cultivo do algodão foi

devido à lixiviação por causa do íon sulfato presente no gesso. Nas demais profundidades não houve diferença estatística.

Tabela 15 - Valores médios de S-SO₄ no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

S-SO₄ (mg dm⁻³)						
Sistemas de Preparo	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	4,55	10,90	3,95	5,65	45,80	12,95
CM	5,40	9,95	8,70	6,10	40,65	9,70
PD	6,80	9,10	9,45	6,00	44,10	9,85
0	5,67	5,92	12,58	4,00	41,75	8,17
1000	5,08	13,33	8,50	6,50	41,75	10,17
2000	5,92	6,33	4,58	5,42	49,00	10,50
3000	5,83	13,00	3,75	4,83	46,17	10,50
4000	5,42	11,33	7,42	8,83	39,08	14,83
F (Manejo)	4,123 ^{NS}	0,112 ^{NS}	1,257 ^{NS}	0,050 ^{NS}	0,315 ^{NS}	2,499 ^{NS}
F (Doses)	0,284 ^{NS}	0,937 ^{NS}	1,103 ^{NS}	5,842 ^{**}	0,751 ^{NS}	1,718 ^{NS}
F (MxD)	0,638 ^{NS}	1,351 ^{NS}	0,579 ^{NS}	1,803 ^{NS}	1,435 ^{NS}	1,806 ^{NS}
CV % (1)	44,82	120,48	161,50	79,92	48,02	47,91
CV % (2)	39,40	129,28	157,26	45,23	36,63	59,48
Média Geral	5,58	9,98	7,37	5,92	43,52	10,83

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{NS}- não significativo.

Na Figura 4, referente ao desdobramento da interação teores de S x doses de gesso, significativo para o teor de S no solo, observou-se que para as doses de gesso 1000, 2000 e 3000 kg ha⁻¹ há um aumento da quantidade de S com o aumento das doses, o que poderia ser em função da lixiviação do mesmo nas dosagens menores. Na maior dosagem existe maior quantidade de S por quilo, e a redução pela lixiviação foi menor ou igual, mas a maior quantidade compensou a perda. Isto aconteceu provavelmente, devido o gesso ser uma fonte mineral de S utilizado nas áreas agrícolas e por possuir boa solubilidade e possibilidade de lixiviação, podendo atingir camadas mais profundas do solo (QUEIROZ, 2005).

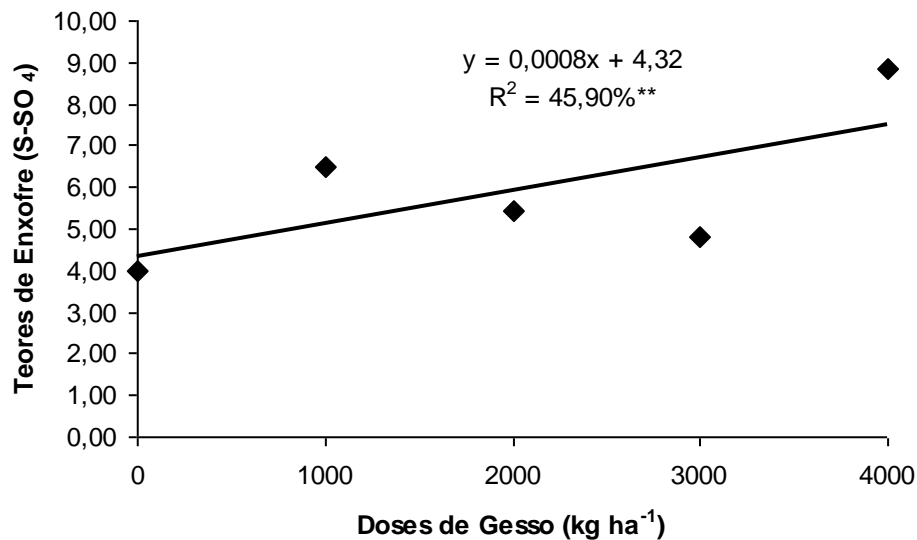


Figura 4. Teores de Enxofre (S-SO₄) na camada de solo 0,05 – 0,20 m em função de doses de gesso.

A aplicação de uma tonelada de gesso fornece cerca de 150 kg de S na forma de sulfato, que se movimenta de forma relativamente rápida, dependendo do tipo de solo e da acidez (CARVALHO; RAIJ, 1997; QUAGGIO et al., 1993). Caires et al. (1998) verificaram que após 24 meses de aplicação de 12000 kg ha⁻¹ de gesso agrícola em um Latossolo Vermelho textura média, cerca de 60% do S-SO₄²⁻ foram lixiviados para camadas maiores que 0,80 m e ainda que 90% do sulfato recuperado foi encontrado em camadas do subsolo (0,20-0,80 m). O aumento da disponibilidade de sulfato no solo pode perdurar por vários anos após a sua aplicação.

O sulfato é mais fortemente retido em solos mais ácidos e com menor densidade de carga elétrica negativa. No trabalho de Toma et al. (1999), o pH em subsuperfície estava em torno de 4,0 enquanto que no estudo de Blum (2008) o pH em CaCl₂ era 5,0 e o ΔpH negativo em todas as camadas amostradas no perfil. Como o teor de C-orgânico era relativamente elevado em todo o perfil do solo, a carga elétrica negativa pode ter favorecido a lixiviação de sulfato para camadas de solo ainda mais profundas. Mesmo em solos argilosos com alta densidade de carga elétrica negativa devida aos elevados teores de C-orgânico no perfil, o sulfato de gesso se movimenta para o subsolo e aí permanece disponível por muitos anos.

Segundo Caires et al. (2003) a aplicação de doses de gesso aumentou os teores de S-SO₄²⁻ no solo, nas cinco profundidades estudadas. Nota-se que houve movimentação de sulfato no solo proporcional às doses de gesso, dependendo do tempo da aplicação. O maior

acúmulo de $S-SO_4^{2-}$ no solo ocorreu na camada superficial (0,0-0,05 m), após oito meses, e no subsolo (0,40-0,60 m), após 20 e 32 meses. Intensa movimentação do $S-SO_4^{2-}$ do gesso, das camadas superficiais para o subsolo, foi observada 32 meses após a sua aplicação. A velocidade com que o sulfato se movimenta é variável em diferentes solos (CAIRES et al., 1998; QUAGGIO et al., 1993), devendo ser mais lenta em solos com maior teor de argila.

A movimentação de sulfato varia de acordo com o tipo de solo e as condições de acidez. No trabalho de Blum (2008), o solo apresentava baixa acidez no perfil decorrente de calagem superficial realizada antes da instalação do experimento. A movimentação de sulfato foi mais rápida do que a observada por Caires et al. (2003) em condições de maior acidez. A correção da acidez do solo reduz os sítios de ligação do sulfato devido ao aumento do pH, proporcionando menor adsorção e maior movimentação do sulfato para o subsolo (CAMARGO; RAIJ, 1989; NOGUEIRA; MELO, 2003).

Na Tabela 16, quando se compara a acidez potencial (H + Al) entre os diferentes sistemas de preparo, observou-se que na camada de 0,0-0,05 m depois do cultivo do algodão, não houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o plantio direto e o cultivo mínimo obtiveram menores valores em comparação com o plantio convencional. Resultado contrário relatado por Almeida (2001) quando comparou o plantio direto com o plantio convencional, na camada de 0,0-0,05 m encontrou diferença significativa da acidez potencial, mostrando redução em profundidade. Já Market (2001) relata que quando comparou o sistema convencional com o plantio direto de 5 e 10 anos obteve um aumento da acidez no plantio direto quando comparado com o convencional.

Na camada de 0,05-0,20 m quando se comprovou os teores de acidez potencial (H + Al) entre os diferentes sistemas de preparo, observa-se que não houve diferença significativa, apenas uma diminuição dos valores entre o antes e o depois do cultivo do algodão. Já no caso da profundidade de 0,20-0,40 m após o cultivo do algodão, observou-se diferença significativa entre os tratamentos, sendo que no cultivo mínimo resultou em menores valores em comparação com o plantio direto e preparo convencional.

A soma de bases (SB) foi influenciada pelos sistemas de preparo e pelas doses de gesso, havendo interação significativa entre estes fatores, na camada de 0,20–0,40 m (Tabela 17). Nas demais profundidades de solo avaliadas não houve influência dos tratamentos adotados na SB, discordando dos resultados encontrados por Gonzaga (2009), o qual relata que ocorreu uma diminuição dos valores da SB à medida que aumentou a profundidade da amostragem.

Tabela 16 - Teores médios de acidez potencial (H + Al) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após a cultura do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	H + Al (mmol _c dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	46,65	50,50	68,45	57,85	70,10	60,75 ab
CM	52,00	41,00	66,80	51,45	66,65	57,70 b
PD	47,75	41,95	68,10	57,95	70,75	65,40 a
0	52,17	47,25	64,75	55,50	68,83	59,25
1000	46,08	45,83	71,83	54,00	64,58	62,00
2000	46,75	42,50	65,08	56,50	69,42	62,50
3000	53,67	44,17	68,25	58,00	74,92	60,58
4000	50,33	42,67	69,00	54,75	68,08	62,08
F (Manejo)	0,633 ^{NS}	4,577 ^{NS}	0,064 ^{NS}	3,288 ^{NS}	0,898 ^{NS}	7,816 [*]
F (Doses)	1,462 ^{NS}	0,827 ^{NS}	0,722 ^{NS}	0,378 ^{NS}	1,141 ^{NS}	0,294 ^{NS}
F (MxD)	0,258 ^{NS}	0,325 ^{NS}	0,250 ^{NS}	0,665 ^{NS}	0,926 ^{NS}	0,945 ^{NS}
CV % (1)	24,04	24,59	22,68	16,47	15,04	10,12
CV % (2)	19,07	17,56	17,69	15,78	17,45	14,05
Média Geral	49,80	44,48	67,78	55,75	69,17	61,28

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{NS}- não significativo.

Santos (2009) observaram que o gesso contribuiu para a diminuição dos teores de Al³⁺ nas camadas subsuperficiais. Para que ocorra a lixiviação de cátions, é necessário que haja no solo íons acompanhantes, como o cloreto, sulfato, nitrato, bicarbonato, etc. Sendo esse um dos motivos que explicam a baixa mobilidade no solo de Ca aplicado na forma de carbonato, já que o ânion CO₃²⁻ reage com o H⁺ formando CO₂, que evolui para a atmosfera. Trinta dias após a aplicação superficial do gesso em superfície de solo, já se observou elevação do pH em CaCl₂, dos teores de cálcio trocável e de magnésio trocável e diminuição do alumínio trocável. A redução nos teores de alumínio trocável, com o uso das doses de gesso, possivelmente ocorreu pela lixiviação de SO₄²⁻ no perfil do solo, condicionando a eliminação de Al trocável por meio da formação do AlSO₄ (SALDANHA et al., 2007).

Também, pode ter ocorrido formação do $\text{Al}(\text{OH})_3$ pela liberação de OH^- por troca de ligantes pelo SO_4^{2-} na superfície das partículas dos óxidos e hidróxidos do solo.

Tabela 17 - Valores médios de soma de bases (SB) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	SB					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	61,20	60,95	42,15	52,05	14,10	36,65
CM	62,00	70,50	44,15	53,50	14,05	31,40
PD	66,95	70,65	42,20	48,40	14,35	28,75
0	60,83	66,08	41,58	52,17	12,25	32,67
1000	64,50	69,08	42,50	51,92	17,33	30,75
2000	64,25	69,67	46,50	52,58	13,75	29,58
3000	62,25	64,50	41,83	49,67	14,42	30,75
4000	65,08	67,50	41,75	50,25	13,08	37,58
F (Manejo)	1,930 ^{NS}	2,869 ^{NS}	0,098 ^{NS}	1,096 ^{NS}	0,029 ^{NS}	6,044 ^{**}
F (Doses)	0,646 ^{NS}	1,108 ^{NS}	0,476 ^{NS}	0,214 ^{NS}	1,689 ^{NS}	3,433 [*]
F (MxD)	0,706 ^{NS}	1,678 ^{NS}	1,606 ^{NS}	0,602 ^{NS}	1,099 ^{NS}	2,444 [*]
CV % (1)	15,82	21,78	38,03	21,87	29,66	22,67
CV % (2)	12,11	10,40	24,37	18,66	36,57	18,37
Média Geral	63,38	67,37	42,83	51,32	14,17	32,27

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{NS}- não significativo.

O desdobramento da interação das doses de gesso com os sistemas de manejo para SB (Tabela 18) revelou o efeito do revolvimento do solo no incremento de bases (correção do perfil do solo) na camada mais profunda (0,20-0,40 m). Fato explicado pela incorporação de camadas superficiais do solo, com teores elevados de bases, além do incremento nos teores de Ca, com gesso. O sistema cultivo convencional promoveu os maiores incrementos na SB, enquanto o cultivo mínimo (subsolação) teve efeito intermediário, revelando que este sistema possui potencial na melhoria da correção do perfil do solo de cerrados, anteriormente cultivados em sistema de plantio direto.

Tabela 18 - Desdobramento da interação dos sistemas de preparo X doses de gesso entre os teores de SB na camada de 0,20 – 0,40 m.

Sistemas / Doses	0	1000	2000	3000	4000
PC	36,00	32,75	30,25	37,50 a	46,75 a
CM	34,00	27,75	26,50	30,50 ab	38,25 ab
PD	28,00	31,75	32,00	24,25 b	27,75 b
Média	32,67	30,75	29,58	30,75	37,58
DMS (M x D)	10,76				

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O incremento da SB pelas doses de gesso foi diferente no sistema sem preparo (PD) em relação aos sistemas com revolvimento do solo (Figura 5). O revolvimento do solo promoveu maiores acréscimos na SB, principalmente nas maiores doses, já que este expõe as partículas do solo da camada mais profunda ao gesso, que por sua vez possui significativa concentração de Ca.

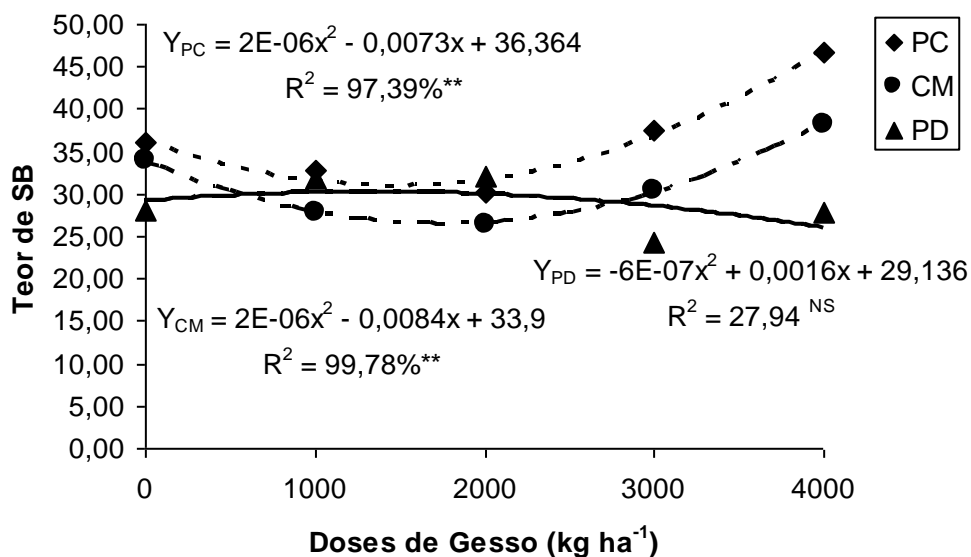


Figura 5. Teores de SB na camada de solo 0,20 – 0,40 m em função de doses de gesso.

Os dados apresentados na Tabela 19 mostraram que não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para capacidade de troca catiônica (CTC ou T) nas diferentes profundidades. Concordando com Gonzaga (2009) e Muraishi (2006) que

também não obtiveram efeito dos tratamentos em nenhuma das profundidades estudadas em trabalhos realizados em solos de cerrado.

Trabalho realizado por Rosa Júnior et al. (2006), relatam que a T foi significativamente influenciada pelas doses de calcário e de gesso agrícola utilizadas, independentemente do uso anteriormente realizado sobre as áreas. Pode-se observar que embora não constatado estatisticamente, que com o aumento das doses de gesso e de calcário, houve aumento nos valores de T, fato que deve estar relacionado à ação direta do efeito desses insumos sobre o pH e, portanto, aumentando a quantidade de cargas negativas dependentes de pH.

Tabela 19 - Valores médios da capacidade de troca de cátions (T) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	T (mmol _c dm ⁻³)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	110,75	111,70	110,55	109,90	84,15	94,40
CM	113,80	111,45	110,85	105,20	80,50	89,20
PD	114,65	112,45	110,40	106,25	85,05	94,15
0	112,92	113,42	106,33	107,75	81,00	92,17
1000	110,67	114,92	114,25	106,25	81,92	92,58
2000	110,92	112,08	111,58	108,92	82,92	92,25
3000	115,67	108,75	110,00	107,75	89,17	91,17
4000	115,17	110,17	110,83	104,92	81,17	99,75
F (Manejo)	1,871	0,120	0,009	2,174	1,325	2,918
F (Doses)	0,941	1,205	0,857	0,688	0,828	2,209
F (MxD)	0,235	1,019	0,967	1,021	0,640	2,550
CV % (1)	5,93	6,01	9,75	6,99	11,25	11,55
CV % (2)	7,33	6,96	9,71	6,05	15,56	8,69
Média Geral	113,07	111,87	110,60	107,12	83,23	93,58

A saturação de bases nas diferentes camadas de solo avaliadas, não sofreu alteração, estatisticamente significativa, pela aplicação das doses de gesso (Tabela 20). Os sistemas de manejo que promoveram a movimentação ou revolvimento do solo promoveram

maior saturação de bases nas profundidades de 0,05–0,20 e 0,20–0,40 m, em função da incorporação de camadas de solo superficiais em profundidade.

Tabela 20 - Valores médios de saturação por bases (V%) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo de algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	V (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	55,35	54,75	38,25	47,50	16,85	37,50
CM	54,80	63,35	40,00	50,55	17,75	35,25
PD	58,55	62,45	37,85	45,25	17,30	30,20
0	53,75	58,67	39,00	48,25	15,67	34,92
1000	58,42	60,08	37,42	48,67	21,25	33,42
2000	58,17	62,00	41,58	48,00	17,00	32,17
3000	54,42	59,00	38,08	46,08	16,50	33,42
4000	56,42	61,17	37,42	47,83	16,08	37,67
F (Manejo)	0,955	4,171	0,141	1,968	0,167	1,429
F (Doses)	1,194	0,829	0,486	0,201	2,026	1,550
F (MxD)	0,419	0,759	1,119	0,672	1,652	1,403
CV % (1)	16,48	17,20	35,16	17,75	28,49	12,96
CV % (2)	11,96	8,93	22,32	16,07	31,83	17,12
Média Geral	56,23	60,18	38,70	47,77	17,30	34,32

Costa et al. (2007), relatam que em trabalho desenvolvido na região de Dourados-MS, com a cultura da soja, também não obtiveram diferença significativa entre os tratamentos aplicados sobre os valores de saturação por bases (V%), saturação por alumínio m(%), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (T). Mendes (2003) também não observou a influência do gesso sobre esses atributos químicos. O aumento da saturação por bases ocorreria se simultaneamente à aplicação de gesso houvesse aumento do teor de Ca, pois, segundo Morelli et al. (1992), o aumento da saturação por bases, motivado pelo uso do gesso, ocorre devido ao aumento da concentração de Ca no solo, uma vez que o gesso não altera o pH e, conseqüentemente, a CTC efetiva. Os sistemas de plantio não diferiram entre si quanto aos valores de V%, SB e T. Provavelmente isso se deve ao fato de o sistema de plantio direto

encontrar-se em fase inicial. Derpsch et al. (1991), comparando durante quatro anos os sistemas de plantio direto e preparo convencional, notaram maiores quantidades de bases (Ca^{+2} e Mg^{+2}) no sistema de plantio direto, assim como também maiores teores de potássio. Eles também relataram que a capacidade de troca catiônica (T) foi maior no plantio direto, devido ao maior teor de matéria orgânica no solo.

A saturação por alumínio (m%) não foi alterada significativamente pelos tratamentos (Tabela 21), fato explicado pelos seus baixos valores de saturação por alumínio ou Al trocável apresentados nas diferentes profundidades avaliadas antes da aplicação dos tratamentos.

Tabela 21 - Valores médios de saturação por alumínio (m%) no solo, para os tratamentos e profundidades estudadas, antes e após o cultivo do algodão. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

Sistemas de Preparo	M (%)					
	Profundidade (m)					
	0-0,05 (antes)	0-0,05 (depois)	0,05-0,20 (antes)	0,05-0,20 (depois)	0,20-0,40 (antes)	0,20-0,40 (depois)
PC	1,35	1,35	3,05	2,10	9,30	3,85
CM	1,40	1,75	3,05	2,45	9,40	4,75
PD	1,30	1,20	3,55	2,65	9,35	5,55
0	1,58	1,17	3,42	2,25	9,50	4,83
1000	1,17	1,67	3,08	2,75	8,33	4,67
2000	1,33	1,42	3,08	2,08	10,00	5,25
3000	1,25	1,58	3,25	2,58	8,92	5,17
4000	1,42	1,33	3,25	2,33	10,00	3,67
F (Manejo)	0,529	1,626	0,359	0,529	0,010	3,028
F (Doses)	1,110	0,520	0,069	0,658	0,876	1,130
F (MxD)	0,705	0,492	0,545	1,248	1,577	1,150
CV % (1)	22,76	69,57	67,00	71,29	23,55	46,34
CV % (2)	39,04	66,70	57,04	47,35	28,60	43,78
Média Geral	1,35	1,43	3,22	2,40	9,35	4,72

Para o rendimento de algodão (Figura 6) não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo do solo. Isso demonstra que o estado estrutural (macroporosidade, densidade do solo e espaço poroso do solo) não comprometeu o rendimento da cultura, apesar

do solo estar com valores de macroporosidade considerados críticos para o bom desenvolvimento do sistema radicular. Estes resultados concordam com Secco et al. (2005), os quais também não obtiveram diferença significativa na produção do algodão em caroço em solo com diferentes manejos.

A produtividade de algodão em caroço para a região do Chapadão do Sul é em média de 4200 kg ha^{-1} (FUNDAÇÃO CHAPADÃO, 2009), revelando que o rendimento obtido está coerente com o potencial do solo.

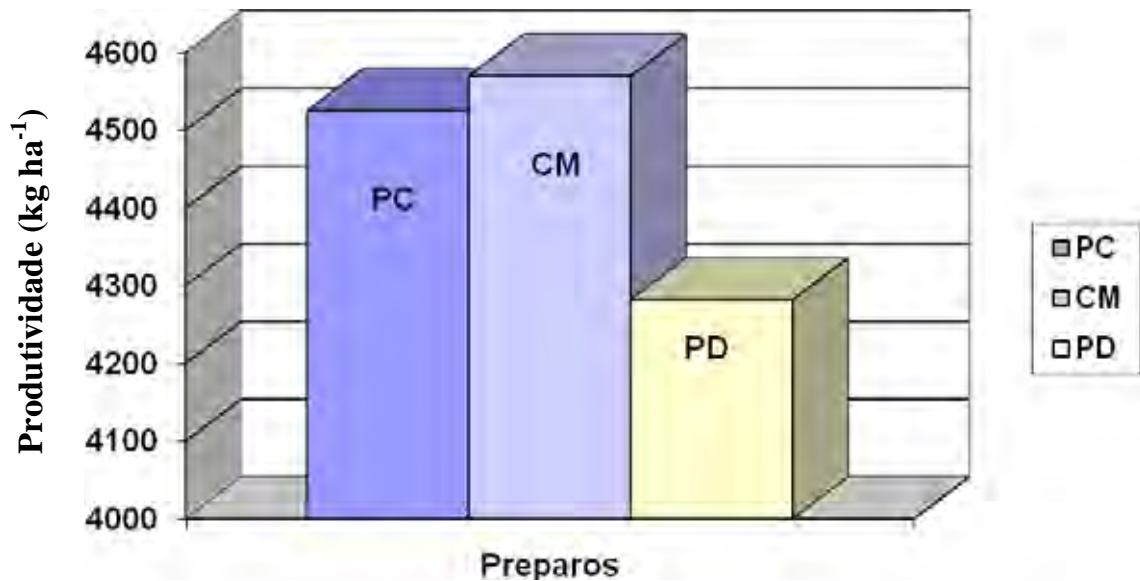


Figura 6. Valores médios e produtividade de algodão em caroço, em kg ha^{-1} , para os tratamentos estudados. Chapadão do Sul-MS, 2007/08.

5 CONCLUSÕES

1. Os sistemas de manejo do solo não influenciaram as propriedades físicas do Latossolo da região do Chapadão do Sul, para as condições do estudo. Entretanto, alteraram a soma de bases na profundidade de 0,20-0,40 m, sendo que os manejos com revolvimento de solo promoveram os maiores valores, respectivamente para sistema convencional e cultivo mínimo, para doses de 3000 e 4000 kg ha⁻¹.
2. As doses de gesso incrementaram os teores de S linearmente na profundidade de 0,05-0,20 m, por um período de 11 meses.
3. Os sistemas de manejo do solo não afetaram a produtividade de algodão em caroço, porém, o cultivo mínimo e o preparo convencional obtiveram um incremento de produção de 7 % a mais do que o plantio direto.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A. et al. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, n. 1, p. 115-119, 1995.

ALMEIDA, V. P. **Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado**. 2001. 71 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ALMEIDA, V. P. et al. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1227-1237, 2008.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

ANDREOLA, F. et al. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/ milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. 4. ed. New York: John Wiley, 1972. 498 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 23-28, 1998.

BLUM, S. C. **Atributos químicos de um latossolo e comportamento do trigo e da soja no sistema plantio direto influenciados pela aplicação e reaplicação de gesso agrícola**. 2008. 76 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

BORGES, E. N. et al. Gesso e matéria orgânica na flocculação de argila e na produção de soja em um Latossolo Vermelho Escuro com camada subsuperficial compactada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, MG, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997a.

BORGES, E. N. et al. Misturas de gesso e matéria orgânica alterando atributos físicos de um Latossolo com compactação simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 125-130, 1997b.

CAIRES, E. F. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 22, n. 1, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações de características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 4, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F. et al. 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**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E. F. et al. Soybean yield and quality as a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E. F. et al. Lime and gypsum application on the wheat crop. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 357-364, 2002.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 125-136, 2004.

CAMERON, R. S.; RITCHIE, G. S. P.; ROBSON, A. D. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 1231-1236, 1986.

CANECHIO FILHO, V.; PASSOS, S. M.; JOSÉ, A. Algodão In: _____. **Principais culturas**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1972. p. 1-97.

CAMARGO, O. A.; RAIJ, B. van. Movimento do gesso em amostras de latossolos com diferentes propriedades eletroquímicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 13, n. 3, p. 275-280, 1989.

CARVALHO, M. A. C. et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 11, p. 1141-1148, 2004.

CARVALHO, M. A. C. et al. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 12, p. 1205-1211, 2004.

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**, The Hague, v. 192, n. 1, p. 37-48, 1997.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p. 75-82, 2008.

CHAN, K. Y.; ROBERTS, W. P.; HEENAN, D. P. Organic carbon and associated soil properties of a red earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 30, n. 1, p. 71-83, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2009/2010, décimo primeiro levantamento – Agosto/2010**. Brasília, DF: MAPA, 2010. 41 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 14 ago. 2010.

COUTO, W.; LATHWELL, D. J.; BOURDIN, D. R. Sulfate sorption by two oxisols and a alfisol of the tropics. **Soil Science**, New Brunswick, v. 127, p.108-116, 1979.

COSTA, M. J. et al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

CRUZ A. C. R. et al. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 1105-1112, 2003.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

DERPSCH, R. Adubação verde e rotação de culturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, 3., 1985, Ponta Grossa. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1985. p.85-104.

DERPSCH, R. The extent of conservation agriculture adoption worldwide: implications and impact. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 3., 2005, Nairobi, Kenya. **Proceedings...** Nairobi: [s.n.], 2005. p.

DERPSCH, R. et al. Comparação entre diferentes métodos de preparo do solo. In: _____. (Eds.). **Controle da erosão no Paraná, Brasil. Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Londrina: IAPAR/DGTZ, 1991. Cap. 5, p. 71-116.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 3, p. 201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Barreirão, utilização de fosfatagem na recuperação de pastagens degradadas**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA/CNPAF, 1998. 51 p. (Circular técnica, 31).

ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 10, n. 3, p. 241-245, 1986.

FARINA, N. P. W.; CHANNON, P. Acid-subsoil amelioration, II, Gypsun effect on growth and subsoil chimica properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 2, p. 169-175, 1988.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA– FEBRAPDP. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Ponta Grossa: Febrapdp, 2006. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 15 abr. 2010

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FLOWERS, M.; LAL, R. Axle load and tillage effect on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 21-35, 1998.

FORTUNA, P. A.; RAIMUNDO, J.; BALADA, L. R. Produtividade e qualidade de fibra do algodão em função de doses de N e K na fazenda Sucuri - Grupo Sachetti - safra 00/01. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 3., 2001, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: Embrapa Algodão, 2001. p. 1039.

FUNDAÇÃO CHAPADÃO. Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Chapadão. **Comunicação Interna**. Chapadão do Sul-MS: Fundação Chapadão, 2009. 185 p.

GATIBONI, L. C. et al. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 283-290, 2003.

GONZAGA, R. L. **Efeito de sistemas de preparo e manejo do solo, culturas de cobertura e rotação nas propriedades físico-químicas do solo e na cultura do milho**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

GUPTA , S. C.; LARSON, W. E. Modeling soil mechanical behavior during tillage, in Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n.1, p. 151-178, 1982.

HALL, D. J. M. et al. Amelioration of a hardsetting Alfisol through deep mouldboard ploughing, gypsum application and double cropping: II. Soil-water relations. **Soil and Tillage Research**, Wageningen, v. 28, n. 3-4, p. 271-285, 1994.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

LAL, R. Soil management in the developing countries. **Soil Science**, Baltimore, v. 165, n. 1, p. 57-72, 2000.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**, Orlando, v. 1, n. 1, p. 277-294, 1985.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. **Anais...** São Paulo: Nagy, 1992. p. 41-66.

MARKET, R. C. **Efeitos do preparo sobre algumas propriedades físicas químicas e biológicas de um Latossolo Vermelho da região de cerrado**. 2001. 75 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

MARSH, B. H.; GROVE, J. H. Surface and subsurface soil acidity: soybean root response to sulfate-bearing spent lime. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 1837-1842, 1992.

MENDES, A. M. Alterações de características químicas do solo pela calagem e gessagem superficiais sob cultivo de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: UNESP: SBCS, 2003.

MORELLI, J. L. et al. Calcário e gesso na produtividade de cana de açúcar e nas características químicas de um latossolo de textura média álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 187-194, 1992.

MURAIISHI, C. T. **Modificações de propriedades químicas e agregação de um latossolo de cerrado sob sistemas de cultivo e adubações orgânica e/ou mineral.** 2006. 104 f. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção)– Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

NOBLE, A. D.; SUMNER, M. E.; ALVA, A. K. The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, n. 5, p. 1398-1402, 1988.

NOGUEIRA, A. R. A.; MOZETO, A. A. Interações químicas do sulfato e carbonato de cálcio em seis solos paulistas sob vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 14, n. 2, p. 1-6, 1990.

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**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

OATES, K. M.; CALDWELL. Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n. 1, p. 915-918, 1985.

OLIVEIRA, G. C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado.** 2002. 78 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

PAOLINELLI, M. T. et al. Aplicação direta do fosfogesso. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, 1986. p. 197-207.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminium following lime as gypsum applications to a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Effects of phosphogypsum and lime on yield, root density, and fruit and foliar composition of apple in Brazilian Oxisols. In: INTERNACIONAL SYMPOSIUM OF PHOSPHOGYPSUM, 2., 1986, Miami. **Anais...** Miami: University of Miami, 1986. p. 51-58.

PIRES, F. R. et al. Alterações de atributos químicos do solo, estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calagem em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 121-131, 2003.

QUAGGIO, J. A. et al. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 3, p. 375-383, 1993.

QUEIROZ, R. P. **Adubação fosfatada corretiva e gesso no plantio direto de soja e sorgo sobre pastagem degradada na região do cerrado**. 2005. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

RAGHAVAN, G. S. V.; MCKYES, E.; CHASSÊ, M. Effect of wheel slip on soil compaction. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Bedfordshire, v. 22, n. 1, p. 79-83, 1977.

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

RAIJ, B. van. et al. Efeito de calcário e de gesso para soja cultivada em latossolo roxo ácido saturado com sulfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 18, n. 3, p. 305-312, 1994.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal oxisols by leaching of surface-applied amendments. **Agrochimica**, Pretoria, v. 4, n. 1, p. 1-5, 1972.

RICHETTI, A.; MELO FILHO, G. A. Aspectos socioeconômicos do algodoeiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA (Ed). **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 13-34.

RITCHEY, K. D. et al. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 1, p. 40-44, 1980.

ROBINSON, N. Phosphoric acid technology. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPAPRATH, E. J., (Eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p. 151-193.

ROSA JUNIOR, E. J. Compactação em latossolo I: sua gênese. **Revista Científica**, Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 51-54, 1994a.

ROSA JUNIOR, E. J. Compactação em latossolo II: seus efeitos e métodos de correção. **Revista Científica**, Campo Grande, v. 1, n. 1, p. 55-59, 1994b.

ROSA JUNIOR, E. J. et al. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.

ROSA JUNIOR, E. J.; VITORINO, A. C. T.; VITORINO, P. F. P. G. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico de Dourados – MS. **Revista Científica**, Dourados, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.

ROTH, C.; VIEIRA, M. J. Infiltração de água no solo. **Plantio Direto**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 4, 1983.

RUSSEL, E. J.; RUSSEL, E. W. **Las condiciones de suelos y el desarrollo de las plantas**. Madrid, ed. Aguilar, 1964. 771 p.

SALDANHA, E. C. M. et al. Uso do gesso mineral em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 103-109, 2007.

SANTOS, M. L. **Manejo da fitomassa de milho, doses e fontes de adubos nitrogenados no algodoeiro em sistema de semeadura direta**. 2009. 78 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de São Paulo-Unesp, Ilha Solteira, 2009.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e produtividade de culturas em latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SHAINBERG, I. et al. Use of gypsum on soils: a review. **Advanced in Soil Science**, New York, v. 9, n. 1, p. 1-111, 1989.

SIDIRAS, N.; VIEIRA, S. R.; ROTH, C. H. Determinação de algumas características físicas de um latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 8, n. 3, p. 265-68, 1984.

SILVA, N. M.; KONDO, J. I.; SABINO, N. P. Importância da adubação na qualidade do algodão e outras plantas fibrosas. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. (Eds.) **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 189-216.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; AMARAL, A. M. Efeito da sucessão de cultura e do preparo do solo sobre o rendimento do arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 6, p. 885-890, 1998.

SILVEIRA, P. M. et al. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 2, p. 257-263, 2001.

SOUZA, K. S. et al. Avaliação dos componentes de produção da mamoeira em função de doses de calcário e fósforo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 4, p. 116-122, 2009.

SOUZA, Z. M., ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S.; STEWART, B. A. (Eds.). **Subsoil management techniques**. Athens: Lewis Publishers, 1995. p. 147-185.

SUMNER, M. E. et al. Amelioration of an acid soil prolife through deep liming an surface application of gypsum. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, n. 1, p. 1254-1278, 1986.

TAKIZAWA, E. K.; GUERRA, J. Tecnologia de manejo do algodão no Cerrados. In: SEMINÁRIO ESTADUAL DO ALGODÃO, 4.; ENCONTRO ALGODÃO MATO GROSSO, 1., 1998, Cuiabá. **Anais...** Rondonópolis: Fundação MT, 1998. p. 61-66.

TOMA, M. et al. Long term effects of gypsum on crop yield and subsoil chemical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 4, p. 891-895, 1999.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1271-1280, 2007.

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

YAMAOKA, R. S. Plantio direto do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., 1999, Ribeirão Preto. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 1999. p. 1-8.

YAVUZCAN, H.G.; MATTHIES, D.; AUERNHAMMER, H. Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 2, p. 200-215, 2005.

WUTKE, E. B. et al. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 621-633, 2000.

ANEXO A – Vista geral da área experimental após da semeadura do algodão, safra 2007/08.



ANEXO B – Vista geral de como foi realizada a coleta dos anéis volumétricos, safra 2007/08.



ANEXO C – Vista geral da colheita do algodão realizada manualmente, safra 2007/08.

