

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS DE SOLO E RENDIMENTO DE SOJA EM UM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DIFERENTES PRESSÕES DE
PASTEJO EM PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA
SUPERFÍCIE**

João Paulo Cassol Flores
(Dissertação de Mestrado)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**ATRIBUTOS DE SOLO E RENDIMENTO DE SOJA EM UM SISTEMA DE
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DIFERENTES PRESSÕES DE
PASTEJO EM PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA
SUPERFÍCIE**

JOÃO PAULO CASSOL FLORES
Engenheiro Agrônomo (UFSM)

Dissertação apresentada como um dos requisitos à obtenção do
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS), Brasil
Fevereiro/ 2004

A toda minha família, meus pais (Artemisia e Jared), meus irmãos (Jussara, Jair, Jaime, Joenes e Jairo), que mesmo de longe sempre me deram forças para continuar.
A minha querida namorada, Lilian, que aqui ao meu lado, sempre me apoiou.
A vocês, DEDICO este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, que sempre nos protegeu nas longínquas viagens à Fazenda do Espinilho.

Ao Professor Ibanor Anghinoni, pela orientação na condução dos trabalhos, pelo convívio, pelos ensinamentos e pelo exemplo profissional.

Ao Professor Carlos Ricardo Trein, pela co-orientação, amizade, convívio e auxílio nos momentos difíceis.

No nome do Professor Paulo Carvalho, agradeço a todos do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia que auxiliaram na execução deste trabalho. E ao Professor Paulo, muito obrigado pela sua amizade, convívio e auxílio nos momentos necessários.

Aos demais professores do Departamento de Solos, pela amizade e ensinamentos durante o transcorrer do curso. Aos funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Seu Zé, Agostinho, Adão e Jader, por serem estarem dispostos a ajudar no que fosse necessário.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado e à FAPERGS pelo auxílio financeiro, que permitiu a execução deste trabalho.

À Cabanha Cerro Coroadó, pela cedência da área experimental e por oferecer toda a infra-estrutura e apoio para condução deste trabalho.

À Lilian, que em muitas ocasiões teve de se privar da minha companhia, para que esse objetivo fosse alcançado.

Aos colegas de apartamento, Frederico e Éder, pela amizade e convívio. A todos os colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial àqueles que ingressaram comigo no curso: Alejandra, Mariel, Rafael e Rodrigo.

Ao meu “primo”, Luis César Cassol, que me apresentou a essa linha de pesquisa e pelas ricas discussões que tivemos sobre este trabalho.

Aos acadêmicos do Curso de Agronomia da UFRGS, João Guilherme dal Belo Leite e Thiago Isquierdo Fraga, pela amizade e ajuda nas análises laboratoriais e trabalho de campo.

A todos aqueles que de alguma forma colaboram para a realização deste trabalho.

ATRIBUTOS DE SOLO E RENDIMENTO DE SOJA EM UM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM DIFERENTES PRESSÕES DE PASTEJO EM PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NA SUPERFÍCIE ^{1/}

Autor: João Paulo Cassol Flores
Orientador: Ibanor Anghinoni
Co-orientador: Carlos Ricardo Trein

RESUMO

A integração da atividade de lavoura com a de pecuária no sistema plantio direto (SPD) em áreas que permanecem com culturas de cobertura no inverno pode se tornar uma alternativa de renda para os produtores de grãos no verão no sul do Brasil. No entanto, muitos deles relutam em adotar esse sistema de integração pelos possíveis efeitos negativos do pisoteio sobre atributos de solo, principalmente aqueles relacionados com a compactação. Essas alterações podem também interferir na dinâmica, no perfil do solo, do calcário aplicado na superfície. Este trabalho foi, então, conduzido para: a) determinar as alterações promovidas pelo pisoteio animal sobre atributos físicos de solo; b) determinar as alterações em atributos químicos no perfil do solo em função da aplicação superficial de calcário e; c) verificar se as alterações resultantes do pisoteio animal têm influência no estabelecimento e no rendimento de soja. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho distroférrico, com pastagem de aveia preta + azevém manejada em diferentes alturas de pastejo (10, 20, 30 e 40 cm) e sem pastejo. As alterações na densidade, porosidade e compressibilidade do solo decorrentes do pisoteio não alteraram a ação do calcário em profundidade, avaliada por atributos químicos relacionados com a acidez do solo. O pH em água, os teores de cálcio e magnésio trocáveis, a saturação por bases e a CTC efetiva aumentaram e o teor de alumínio trocável diminuiu até 15, 7,5, 12,5, 2,5 e 10 cm de profundidade, respectivamente, em relação à testemunha sem calcário, independentemente das intensidades de pastejo utilizadas. A população inicial de plantas e o rendimento de soja não foram afetados pelas alterações nos atributos físicos e químicos do solo em período sem restrição hídrica.

^{1/} Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil. (74 p.) – Fevereiro, 2004. Trabalho realizado com apoio financeiro da FAPERGS e da Cabanha Cerro Coroadó.

SOIL ATTRIBUTES AND SOYBEAN YIELD IN AN ANIMAL-CROP INTEGRATION SYSTEM WITH DIFFERENT PASTURE HEIGHTS IN NO-TILLAGE WITH SURFACE LIME APPLICATION ^{1/}

Author: João Paulo Cassol Flores

Adviser: Ibanor Anghinoni

Co-adviser: Carlos Ricardo Trein

ABSTRACT

The integration of farming and cattle production activities in no-tillage system areas with covering crops in the winter, can become an income alternative for the summer grain producers. However, many farmers are afraid in adopting this integration system, because of possible negative effects of animal treading on soil attributes, mainly of those related to soil compaction. These effects can also interfere in the soil depth acidity neutralization by surface lime application in no-tillage system. This research was, then, conducted: a) to determine the alterations in the soil physical attributes promoted by animal treading; b) to determine the alterations in soil chemical attributes in soil profile due to surface lime application, and c) to verify if the alterations in soil attributes due to animal treading have influence in soybean population and yield. The experiment was carried out in a Rhodic Hapludox (Oxisol), with black oat + ryegrass pasture grazed at different heights (10, 20, 30 and 40 cm) and in no grazed treatment. The modifications in soil bulk density, porosity and compressibility due to animal treading had no effect on lime action in the soil depth as evaluated by soil chemical attributes related with acidity. Water pH, exchangeable calcium and magnesium, bases saturation and effective CEC increased and exchangeable aluminum decreased up to 15, 7,5, 12,5, 2,5 e 10 cm depth, respectively, in relation to the treatment without lime and graze, independently of the grazing intensity. Soybean population and grain yield were not affected by the soil physical and chemical modifications in a no dryness period.

^{1/} Master of Science Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brazil. (74 p.) – February, 2004. Research supported by FAPERGS and Cabanha Cerro Coroado.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Integração lavoura-pecuária.....	3
2.2. Pisoteio animal e atributos físicos do solo.....	6
2.3. Calagem em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto	13
2.4. Estabelecimento e rendimento das culturas após pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob SPD.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Histórico, localização e caracterização da área experimental.....	17
3.2. Tratamentos e condução da primeira etapa do experimento.....	18
3.3. Etapa experimental referente ao presente trabalho	21
3.3.1. Condução do experimento	21
3.3.2. Análises e determinações.....	22
3.3.2.1. Atributos físicos do solo.....	22
3.3.2.2. Atributos químicos do solo.....	24
3.3.2.3. Atributos de planta.....	24
3.3.2.4. Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Alterações nos atributos físicos do solo devido ao pisoteio animal	26
4.1.1. Após o segundo ciclo da cultura da soja.....	26
4.1.2. Em diferentes épocas a partir do início do experimento.....	34
4.2. Atributos da acidez do solo com a aplicação de calcário na superfície	40
4.2.1. Após o segundo ciclo da cultura da soja.....	40
4.2.2. Em diferentes épocas a partir da aplicação do calcário.....	49
4.3. População de plantas e rendimento de grãos da cultura da soja....	59
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7. APÊNDICES	73

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Pressão de pré-consolidação (KPa) de um Latossolo Vermelho distroférico, após o 2º ciclo de pastejo e o 2º cultivo de soja em área submetida à integração lavoura pecuária em plantio direto.....	33

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Curva característica de compressibilidade do solo	11
2. Croqui da área experimental. Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões/RS	19
3. Densidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	27
4. Macroporosidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	28
5. Microporosidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	29
6. Porosidade total do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	30
7. Densidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	35
8. Macroporosidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	36
9. Microporosidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	37
10. Porosidade total do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	39
11. pH-H ₂ O do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-	

pecuária em plantio direto	41
12. Teor de Ca trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	41
13. Teor de Mg trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	42
14. Teor de Al trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	42
15. Saturação por bases do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	43
16. Saturação por alumínio do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	43
17. CTC efetiva do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto	44
18. Teor de carbono orgânico total 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	44
19. pH em água do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	50
20. Teores de Ca trocável do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	51
21. Teores de Mg trocável do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	52

22. Saturação por bases do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	53
23. Saturação por alumínio do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	54
24. Valores da CTC efetiva do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	55
25. Carbono orgânico total do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.....	58
26. População de plantas de soja 30 DAE (safra 2002/03) em área anteriormente submetida a pastejo de aveia + azevém sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Diferenças não significativas pelo teste da DMS 5%	59
27. Rendimento de grãos de soja (safra 2002/03) em área anteriormente submetida a pastejo de aveia + azevém sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Diferenças não significativas pelo teste da DMS 5%.....	61

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1. Precipitações pluviométricas registradas nos anos de 2001, 2002 e 2003 na Fazenda do Espinilho. São Miguel das Missões – RS	74

1. INTRODUÇÃO

A área cultivada no sistema plantio direto (SPD) no estado do Rio Grande do Sul está em torno de quatro milhões de hectares no período de verão. Desse total, apenas um milhão de hectares são utilizados para a produção de grãos de cereais de inverno. Essa baixa utilização da área nesse período, se deve, em parte, ao baixo retorno econômico que as culturas dessa estação têm apresentado nas últimas safras. Com isso, em torno de dois milhões de hectares permanecem apenas com culturas de cobertura nessa época, atendendo a um requisito básico do SPD, que é de manter o solo coberto durante todo o ano. Dos quatro milhões de hectares cultivados no verão sob SPD, ainda restam em torno de um milhão de hectares que permanecem em pousio durante o período hibernal. Dentre as espécies utilizadas como culturas de cobertura no RS, destaca-se a mistura de aveia preta e azevém. Essas espécies apresentam potencial para serem pastejadas durante boa parte do seu ciclo.

Pela situação exposta, verifica-se que o inverno é um período crítico de rentabilidade para a grande maioria dos produtores de grãos. Dessa forma, faz-se necessária a busca e o aprimoramento de sistemas que visem a diversificação de atividades na propriedade agrícola, que possam oferecer alternativas de renda para os produtores de grãos no período de entressafra, não deixando que a propriedade fique somente na dependência das culturas de verão. Nesse contexto, uma alternativa é a adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária, com o uso das práticas adequadas de manejo racional dos recursos naturais, das premissas do SPD e da utilização adequada de insumos.

Muitos produtores ainda relutam em adotar o sistema de integração lavoura-pecuária pelo pouco conhecimento que se tem dos efeitos do pisoteio animal sobre as características do solo, que podem dificultar o estabelecimento

da cultura subsequente. Esses problemas estão relacionados principalmente com as características físicas do solo; dentre elas, a compactação, a porosidade, a resistência à penetração de raízes e a capacidade de infiltração de água. Dependendo da carga animal aplicada na área sob pastejo, os valores desses atributos de solo podem atingir patamares prejudiciais ao estabelecimento e ao rendimento de grãos da cultura que vem na seqüência do pastejo, sobretudo quando do uso de elevada carga animal.

Em áreas conduzidas apenas com lavouras em SPD, a dinâmica do calcário, aplicado em superfície, tem sido bastante estudada, sendo, até mesmo, identificados os mecanismos responsáveis pelo seu efeito sobre a acidez do solo em profundidade. Mesmo sendo um produto de baixa solubilidade, a aplicação superficial de calcário no SPD tem se mostrado uma prática eficiente na correção da acidez do solo. A presença de animais em áreas de lavouras pode alterar essa dinâmica, dependendo da lotação animal por área e da altura de manejo da pastagem. No entanto, poucos são os estudos que abordam o tema calagem num sistema de integração lavoura-pecuária.

Este trabalho foi, então, realizado no intuito de testar as hipóteses de que: 1) em condições de manejo da pastagem em menores alturas, ou seja, maiores cargas animal por área, há aumento da densidade, da microporosidade e da pressão de pré-consolidação do solo e diminuição da macroporosidade e da porosidade total; 2) essas alterações restringem a eficácia do calcário em corrigir a acidez do solo às camadas superficiais; 3) o estabelecimento e o rendimento da cultura da soja é prejudicado pelas alterações nos atributos físicos do solo provocadas pelo pisoteio animal.

Este estudo teve por objetivos: 1) determinar as alterações ocorridas na densidade, na porosidade e na compressibilidade do solo, promovidas pelo pisoteio animal com o manejo da pastagem em diferentes alturas; 2) determinar os atributos químicos do solo relacionados com a acidez, a fim de verificar se as alterações nos atributos físicos do solo interferem na dinâmica em profundidade do calcário, aplicado em superfície, e; 3) verificar se as alterações nos atributos físicos e químicos do solo, promovidas pelo pisoteio, afetam o estande de plantas e o rendimento de grãos da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Integração lavoura-pecuária

A diversificação das atividades em uma propriedade agrícola, visando a obtenção de renda no período de entressafra no inverno, no caso do Rio Grande do Sul, é fundamental para uma agricultura eficiente, produtiva e estável (Moraes et al., 2002; Cassol, 2003). É nesse contexto que se situa a proposta de integração da atividade agrícola (lavoura) com a atividade pecuária, pois se entende que essas atividades desenvolvidas de forma isolada são sustentáveis num determinado espaço de tempo, mas não se perpetuam, uma vez que ambas são cíclicas, sendo ora o cenário mais favorável para o pecuarista e ora mais favorável para o produtor de grãos (Cassol, 2003). A pecuária não é uma atividade atrativa para esses produtores, pois gera uma renda relativamente baixa quando não se tem uma área de tamanho adequado para o seu desenvolvimento (Moraes et al., 2002). De acordo com esses autores, não é válida a comparação, no tocante à geração de renda, entre a agricultura e a pecuária nos moldes que essas atividades são ainda conduzidas nas propriedades, sendo a agricultura dominante nas áreas mais nobres e mais bem cuidadas, enquanto a pecuária é praticada nas áreas marginais. Esses autores ainda ressaltam que somente quando a pecuária passar a ser praticada com o mesmo nível de tecnologia aplicado na agricultura e em áreas de mesma qualidade, é possível se conhecer o seu verdadeiro potencial de geração de renda.

A agricultura e a pecuária não devem ser vistas como atividades antagônicas, mas sim como atividades complementares que, quando integradas, funcionam em sinergismo, tendo a lavoura um melhor resultado

quando integrada com a pecuária e vice-versa (Moraes et al., 2002; Cassol, 2003).

O termo integração lavoura-pecuária é utilizado para designar a alternância de cultivo de grãos e pastejo de animais em pastagens de gramíneas e/ou leguminosas (Moraes et al., 1998). A rotação pastagens-culturas de grãos torna-se uma das estratégias mais promissoras para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e, por sua vez, mais sustentáveis no tempo (Cassol, 2003).

No Estado do Rio Grande do Sul, o sistema de integração de atividades agrícolas com pecuárias foi intensificado principalmente a partir da década de 70, nas regiões do Planalto Médio e Missões, com a introdução de novas espécies forrageiras de inverno (Mello, 1996). A intensificação de uso desse sistema coincide com a época de início do SPD nas principais regiões produtoras de grãos de culturas de sequeiro (milho e soja). Uma das premissas do SPD é a manutenção de cobertura vegetal permanente sobre o solo. Para atingir esse fim, no RS é utilizada, na maior parte dos anos, uma mistura de aveia preta + azevém, que serve de cobertura ao solo durante o período de inverno, protegendo o mesmo da ação erosiva das chuvas. Além disso, essas culturas apresentam potencial para serem pastejadas durante uma boa parte do seu ciclo.

No período de inverno, no qual ocorre baixa oferta de forragem pelas pastagens naturais, as áreas com culturas de cobertura podem se tornar uma fonte alternativa de renda para os produtores, aliando a produção de grãos, no verão, com a produção animal, no inverno. Essas áreas apresentam potencial para serem pastejadas por um certo período, aliando, dessa forma, a atividade agrícola com a pecuária. Resta, então, adequar o seu manejo e dos animais, para que não haja um comprometimento das culturas de grãos que virão na seqüência do pastejo e do sistema plantio direto como um todo e, ao mesmo tempo, permita a obtenção de renda com o componente zootécnico do sistema. Para Cassol (2003), não há uma justificativa plausível para que, durante o inverno, áreas sob SPD permaneçam apenas com culturas de cobertura com o único propósito de produção de palha, pois a integração dessas áreas com a pecuária, além de tornar mais eficiente e produtivo o uso da terra, gera mais

renda para os produtores e é uma atividade que pode produzir forte impacto sobre a produção pecuária da região Sul do Brasil.

Dentre os benefícios da integração lavoura-pecuária, pode-se citar: 1) a possibilidade de introdução, renovação e recuperação de pastagens com baixa aplicação de capital; 2) a utilização, por parte da pastagem, do residual de adubo da cultura de grãos, criando condições para obter pastagens de boa qualidade e elevado potencial produtivo; 3) a possibilidade de produção de forragem na época mais crítica do ano, no caso o inverno; 4) a diminuição da incidência de pragas, doenças e plantas indesejáveis na área de lavoura, devido à rotação de pastagens e culturas de grãos, fundamental para o sistema plantio direto; 5) o aumento da rentabilidade da propriedade e diminuição da dependência dos produtores de grãos de verão; 6) o aumento da liquidez da propriedade, proporcionado pela venda do gado após o período de pastejo (Cassol, 2003).

Um estudo de viabilidade econômica dessa atividade sob SPD, realizado por Fontaneli et al. (2000) nas regiões produtoras de grãos do RS (Planalto, Missões e Alto Uruguai), indicou que os sistemas de cultivo que envolviam pastejo não diferiram entre si, mas apresentaram uma receita líquida superior ao sistema que envolvia apenas culturas de grãos, destacando que o sistema de integração lavoura-pecuária sob SPD demonstrou-se viável, tanto para as culturas de verão como para a engorda de bovinos no inverno. Ambrosi et al. (2001) afirmam que a integração lavoura-pecuária sob SPD é uma prática viável para engorda de animais no período de inverno e na rotação de culturas de verão, ficando claro que a exploração da lavoura de verão em conjunto com a pecuária no inverno aumenta a rentabilidade da propriedade agrícola como um todo.

A integração lavoura-pecuária tem contribuído para a viabilização econômica das propriedades rurais e para o próprio SPD na região centro-oeste do Brasil (Mello, 2001). Para este autor, pelo fato do sistema de integração lavoura-pecuária ser relativamente novo, permanecem alguns questionamentos em relação à compactação do solo, aos efeitos das alterações dos atributos de solo na cultura subsequente ao pastejo, à quantidade de resíduos de palha que deve permanecer sobre o solo, para que

não haja o comprometimento do SPD (Cassol, 2003). Além desses, ainda ocorrem questionamentos sobre a viabilidade econômica do sistema.

2.2. Pisoteio animal e atributos físicos do solo

A compactação do solo é um processo de densificação, o qual pode acarretar um aumento de resistência à penetração das raízes no solo e redução da porosidade total, da macroporosidade, da permeabilidade e da infiltração de água, sendo essas alterações desencadeadas pela aplicação de cargas na superfície do solo (Taylor & Brar, 1991; Soane & Ouwerkerk, 1994). A compactação dos solos agrícolas tem despertado o interesse de pesquisadores em todo mundo, devido ao aumento da utilização de maquinaria pesada na agricultura e por causa da expansão das áreas agrícolas, sobretudo nos países em desenvolvimento, particularmente nos trópicos (Larson et al., 1980), nos quais a suscetibilidade à degradação da capacidade produtiva dos solos é maior. A compactação causada pelo excessivo tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal em áreas sob integração lavoura-pecuária, são algumas das principais causas da degradação da capacidade produtiva de solos agrícolas (Albuquerque et al., 2001).

Para Camargo & Alleoni (1997), o conceito de compactação do solo agrícola é complexo e a sua descrição e mensuração são bastante difíceis. De acordo com esses autores, a compactação do solo pode tomar muitas vezes dimensões graves, pois as modificações que causa no solo acarretam uma série de problemas que podem afetar, de forma direta ou indireta, a produção vegetal.

De uma forma geral, pode-se dizer que todos os solos sob pastejo sofrem compactação devido ao tráfego dos animais, sobretudo quando o solo está úmido (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991, Correa & Reichardt, 1995).

O pisoteio intenso de animais em solos úmidos causa severa redução na macroporosidade, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água nas camadas mais superficiais do solo (Tanner & Mamaril, 1959; Taylor & Brar, 1991; Trein et al., 1991; Gaggero, 1998; Bertol et al., 1998; Bertol et al., 2000; Cassol, 2003), sendo esse efeito mais acentuado em solos de textura argilosa do que em solos arenosos (Tanner & Mamaril, 1959).

A utilização de sistemas de integração lavoura-pecuária, pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode afetar o desenvolvimento radicular (Taylor & Brar, 1991; Silva et al., 2000) e a produção das culturas que venham na seqüência do pastejo (Silva et al., 2000; Albuquerque et al., 2001; Salton et al., 2002). A magnitude dessas alterações, principalmente nos atributos físicos do solo, está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo as alterações variar com a textura, o teor de matéria orgânica (Smith et al., 1997; Larson et al., 1980;), o teor de umidade do solo (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Correa & Reichardt, 1995), a biomassa vegetal sobre o solo (Silva et al., 2000; Mello, 2002; Silva et al., 2003), a espécie de planta, a intensidade e o tempo de pastejo e a espécie e categoria animal (Correa & Reichardt, 1995; Salton et al., 2002).

A avaliação dos efeitos do pisoteio animal sobre as características e propriedades físicas do solo é geralmente baseada na mensuração de alguns parâmetros físicos do solo, dentre os quais destacam-se a densidade, a macroporosidade, a microporosidade, a taxa de infiltração de água e a resistência à penetração de raízes. Geralmente, o pisoteio animal promove um aumento na densidade e na microporosidade do solo principalmente na camada de 0-5 cm, e diminuição na taxa de infiltração de água no solo, na macroporosidade e na porosidade total (Trein et al. 1991; Uhde et al.; 1996; Moraes & Lustosa, 1997; Bertol et al., 1998; Gaggero, 1998; Vizzoto et al., 2000; Salton et al., 2002). Entretanto, esse aumento da densidade nas camadas superficiais pode ser revertido pela cultura de verão subsequente (Moraes & Lustosa, 1997). Em um solo de várzea, por exemplo, foi observada redução da porosidade total e aumento da densidade do solo na camada até 5 cm de profundidade, sendo que um período de seis meses após o pastejo não foi suficiente para que as plantas conseguissem descompactar o solo; no entanto, esse período foi suficiente para a recuperação dos valores de macroporosidade, atingindo valores semelhantes aos observados anteriormente ao pastejo (Vizzoto et al., 2000).

Algumas espécies de plantas têm a capacidade de desenvolver um sistema radicular mais agressivo, capaz de romper camadas compactadas de solo. Entretanto, a maioria das culturas comerciais exploradas apresenta um

sistema radicular sensível à compactação. O crescimento das raízes se dá por divisão e expansão das células meristemáticas e, com isso, a raiz penetra no solo. Desta forma, o crescimento está baseado principalmente no turgor das células radiculares. Se a resistência oferecida pelo solo for superior a essa força, o crescimento radicular é bastante prejudicado, podendo, até mesmo, cessar (Camargo & Alleoni, 1997; Mello, 2002). Levando em consideração essas interações, Mello (2002) indica que o crescimento radicular é o parâmetro mais adequado para a avaliação do impedimento ao crescimento de plantas sobre solos compactados.

A rota preferencial de crescimento das raízes é através dos macroporos (Camargo & Alleoni, 1997). Deste modo, em solos compactados, em que há diminuição dos macroporos, o desenvolvimento radicular pode ser prejudicado, conforme salientado por Silva et al. (2000). A redução na macroporosidade, por afetar o movimento de água no solo e a dinâmica de gases, é considerada por Mello (2002) como o principal efeito danoso do pisoteio animal sobre o solo. A redução no volume de macroporos e o aumento da densidade do solo, fazem com que aumente a resistência do solo à penetração, porém, a capacidade das raízes penetrarem em camadas compactadas é intrínseca de cada cultura (Cintra & Mielniczuk, 1983).

Poucos são os trabalhos a campo com o intuito de determinar o comportamento do crescimento radicular e de plantas em áreas com solo compactado, tendo um número ainda mais reduzido de trabalhos que envolvam o efeito do pisoteio animal.

Muitos pesquisadores têm buscado entender melhor o comportamento das principais plantas cultivadas frente a uma camada de solo compactada, mas esse fenômeno ainda não está esclarecido. Os estudos que visam obter a resposta das plantas a diferentes níveis de compactação do solo, geralmente têm sido realizados em vasos, em casas de vegetação, ou representam um levantamento do estado de compactação observada em um determinado local e seu efeito sobre a cultura ali implantada (Kaiser et al., 2003).

Em camadas com densidade de $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$ ainda foi observado crescimento de raízes de soja em um Latossolo Vermelho-Escuro com 72% de argila (Borges et al., 1988), no entanto, foi verificado acúmulo de raízes na

camada superficial do solo. A compactação também pode causar diminuição da massa seca de raízes de soja (Moraes et al., 1995) e prejudicar a nutrição das mesmas (Silva & Rosolem, 2001), o que poderá se refletir no rendimento de grãos.

A descompactação de solos pode ser obtida de forma biológica, pelo uso de espécies vegetais que possuam sistema radicular agressivo, capaz de penetrar e romper as camadas compactadas. O nabo forrageiro e a aveia preta apresentam bom desenvolvimento e crescimento de raízes dentro e abaixo da camada compactada e contribuem para melhorar as características físicas do solo com compactação superficial (Müller et al., 2001). Em trabalho realizado por Cintra e Mielniczuk (1983), a colza e o tremoço se mostraram promissores para utilização em áreas compactadas, devido ao sistema radicular pivotante, enquanto que o feijão-de-porco mostrou-se bastante sensível à compactação do solo (Alvarenga et al., 1996). O caupi mostrou-se mais eficiente que o milho e o girassol frente a uma camada de solo adensada (Almeida et al., 2003).

O efeito do pisoteio animal na compactação do solo varia com a textura do solo, o teor de matéria orgânica (Smith et al., 1997; Larson et al., 1980), o conteúdo de umidade do solo (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Correa & Reichardt, 1995), a quantidade de cobertura de biomassa vegetal do solo (Silva et al., 2000; Mello, 2002; Silva et al., 2003) e a espécie e categoria animal (Correa & Reichardt, 1995; Salton et al., 2002). Esses dois últimos vão determinar a carga animal, em termos de kg de peso por unidade de área, ou seja, a pressão que vai ser exercida sobre o solo durante o pastejo, e o manejo dessa lotação animal é que vai fazer com que os efeitos sobre os atributos físicos do solo se manifestem com maior ou menor intensidade. A biomassa que permanece sobre o solo durante o período de pastejo é extremamente importante para diminuir o efeito do casco dos animais sobre o solo, pelo fato do impacto da pata não se dar de forma direta sobre o solo, mas sobre o resíduo vegetal (Silva et al., 2000).

A ação do sistema radicular da própria pastagem e a atividade da mesofauna do solo contribuem para a descompactação biológica do solo. No entanto, quando a lotação é muito elevada, ocorre uma redução na atividade da mesofauna, evidenciada pelo menor número de galerias próximas à

superfície do solo (Holt et al., 1996). Radford et al. (2001) verificaram maior ocorrência de macrofauna no ambiente de pastagens em relação à áreas de lavouras.

Adequadas condições de espaço poroso do solo para o bom desenvolvimento de plantas caracterizam-se por uma boa porosidade e equilibrada distribuição de diâmetros de poros entre micro e macroporos. Contudo, é bastante difícil manter as boas condições físicas do solo, uma vez que a utilização de implementos e máquinas, assim como o pisoteio animal, causam deterioração no espaço poroso através de pressões que são aplicadas sobre o solo. A aplicação de pressões externas ao solo, provocadas por máquinas, equipamentos agrícolas e pisoteio animal, promove deformação do mesmo e a intensidade com que esta deformação se manifesta está relacionada com a sua compressibilidade (Boeni, 1997).

A compressibilidade do solo pode ser definida como a variação do volume do mesmo em resposta à aplicação de uma força externa que tende a deformá-lo (Carpenedo, 1994), podendo ser expressa em densidade do solo (g cm^{-3}) ou índice de vazios (e). Ainda, segundo esse autor, os testes de compressibilidade do solo envolvem o estudo da relação entre tensões impostas a uma amostra de solo por fatores externos e a respectiva deformação do mesmo, representada basicamente pelo índice de compressão (C_c) e pressão crítica ou pressão de pré-consolidação (σ_p). O autor ainda relata que esses índices variam com o teor de umidade e com a história de pressões exercidas sobre o solo.

Dentre os mecanismos responsáveis pela compressão do solo, o mais importante é a compressão do ar confinado no solo, uma vez que a água tem a característica de ser incompressível e a compressão das partículas sólidas minerais se dá somente sob altas pressões (Hillel, 1980). As deformações sofridas pelo solo, devem-se, então, a expulsão de água e de ar dos espaços porosos do solo (Ortigão, 1995).

Por meio da aplicação de cargas estáticas, simulando diferentes pressões sobre uma amostra de solo confinado em um anel metálico e acompanhando as deformações que ocorrem na amostra ao longo do tempo, obtém-se os dados para construir um gráfico, denominado de curva de compressão (Figura 1). Essa curva tem sido utilizada para simular as reduções

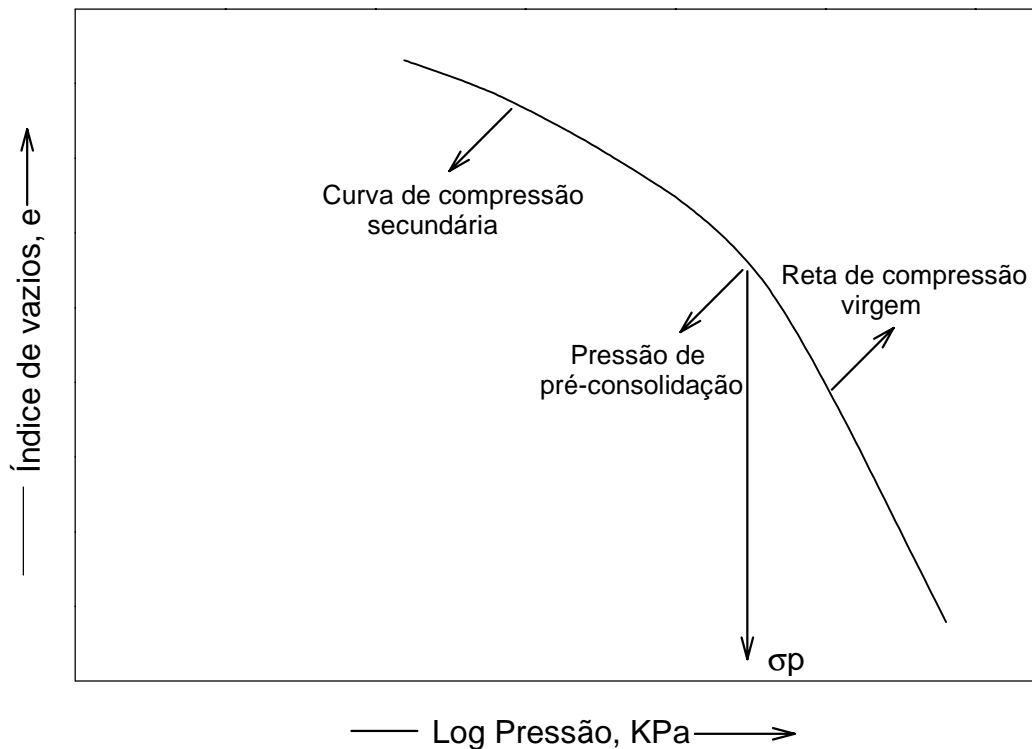


FIGURA 1. Curva característica de compressibilidade do solo.

de volume do solo, pela aplicação de cargas e representa a relação entre a densidade do solo ou índice de vazios e o logaritmo da pressão aplicada (Larson et al., 1980; Dias Junior & Pierce, 1995; Smith et al., 1997; Silva et al., 2002). A curva de compressibilidade apresenta duas porções distintas: a curva de compressão secundária e a reta de compressão virgem (Dias Junior & Pierce, 1995). O ponto da curva de compressibilidade que divide essas duas regiões de comportamento distinto dos solos, é conhecida como pressão de pré-consolidação (σ_p). A porção linear, da curva de compressibilidade, representa o comportamento de um solo que ainda não sofreu nenhuma pressão externa, por isso a denominação de reta de compressão virgem, ou que está com alto teor de água. A partir desse ponto, qualquer pressão aplicada sobre o solo resultará em deformações plásticas e, portanto, não recuperáveis, ou seja, o solo sofrerá compactação (Larson & Gupta, 1980; Larson et al., 1980; Culley & Larson, 1987; Lebert & Horn, 1991; Dias Junior & Pierce, 1995). O declive da reta virgem é chamado índice de compressibilidade do solo (C_c) (Stone & Ekwue, 1996), e é um indicativo da susceptibilidade do solo à compactação (Silva et al., 2002). A curva secundária de compressão

representa um solo que já tem um histórico de pressões anteriores, ou está mais seco, o qual apresentará deformação quando submetido a pressões externas, que poderá ser recuperável (elástica) ou não (plástica) (Stone & Larson, 1980; Lebert & Horn, 1991).

A importância agrícola do conhecimento da σ_p se deve ao fato de que, quando as pressões aplicadas ao solo forem superiores a σ_p do solo, este sofrerá o processo de compactação, conforme alertado por Lebert e Horn (1991). A σ_p será tanto maior quanto maior for a densidade do solo, isto porque quanto maior a densidade do solo, menor é o espaço poroso, as partículas estão mais próximas umas das outras e mais difícil é o seu rearranjo sob uma pressão que tende a deformar o solo, ou seja, menor é a variação de volume da amostra de solo pela menor compressão do mesmo. Com isso, maior é a pressão necessária para promover um novo rearranjo das partículas sólidas. O C_c indica a redução do volume de vazios do solo à medida que aumenta a pressão aplicada sobre o solo e quanto maior o seu valor, mais compressivo é o solo (Boeni, 1997). O valor do C_c , este será tanto menor quanto maior for a densidade do solo (Silva et al., 2002; Carpenedo, 1994), isso porque será menor a inclinação da reta quando plotado o log da pressão aplicada versus o índice de vazios do solo.

Dias Júnior & Pierce (1996) ressaltam que a curva de compressão tem importância na determinação de parâmetros que auxiliam a evitar que solos sob cultivo sejam excessivamente compactados.

A integração lavoura-pecuária apresenta o animal e sua ação compactadora; de outro lado existe a ação regeneradora que a própria pastagem exerce no sentido de reverter esse processo. A resultante deste conjunto de forças vai depender das práticas de manejo adotadas no agroecossistema solo-planta-animal. Práticas, como a calagem e a adubação, que visam garantir uma boa condição nutricional para as plantas, associadas a um correto ajuste da lotação e do sistema de pastejo, são fundamentais para garantir a produtividade do sistema (Moraes et al., 2002).

2.3. Calagem em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto

A adoção do SPD fez com que surgissem questionamentos sobre a forma e a frequência com que o calcário deveria ser reaplicado ao solo, já que no sistema convencional de cultivo esse insumo é incorporado ao solo. Portanto, a situação é contraditória, pois a partir da adoção do SPD o calcário passou a ser aplicado na superfície do solo o que, teoricamente, por sua característica de solubilidade, diminui a eficiência do calcário em corrigir a acidez do solo. Alguns autores relatam que o efeito do calcário aplicado superficialmente, sobre os atributos químicos relacionados com a acidez do solo, se restringe à camada superficial (Blevins et al., 1983; Cassol, 1995; Pötter & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000a e b; Amaral & Anghinoni, 2001; Moreira et al., 2001). No entanto, outros trabalhos têm demonstrado que os efeitos do calcário aplicado na superfície podem atingir camadas mais profundas no perfil do solo (Caires et al., 1998; Petreire & Anghinoni, 2001; Gatiboni et al. 2003, Caires et al., 2003), mostrando-se uma prática eficiente em aumentar, ou no mínimo manter, os rendimentos das culturas (Cassol, 2003).

De acordo com Amaral (2002), a magnitude do efeito, em profundidade, do calcário aplicado em superfície no solo sob SPD depende de: características do solo (textura, estrutura e drenagem), do clima (precipitação pluviométrica e temperatura), do tempo de adoção do SPD (influenciando principalmente o diâmetro, o volume e a continuidade dos macroporos e dos bioporos), do sistema de rotação de culturas empregado (determina a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais e matéria orgânica), do calcário (em função da dose e granulometria) e do manejo adotado na área.

Amaral (2002) elenca como principais mecanismos determinantes da dinâmica do calcário em SPD: a descida de partículas de calcário por meio dos bioporos do solo; a movimentação iônica de produtos resultantes da dissolução do calcário, sobretudo de Ca e Mg, por ânions solúveis; a translocação de cátions divalentes por ligantes orgânicos e a neutralização da acidez do solo e; amenização da fitotoxicidade do alumínio pelos resíduos vegetais. O autor ainda salienta que participação desses mecanismos na dinâmica da acidez do solo é variável, estando na dependência da condição que ocorre no solo; no entanto,

eles sempre ocorrem de forma simultânea, dificultando a sua quantificação de forma isolada.

As alterações promovidas pelo tráfego de animais podem afetar a dinâmica do calcário em áreas de integração lavoura-pecuária em relação à áreas apenas de lavouras sob SPD. O pisoteio animal, quando em solo úmido, causa redução da macroporosidade e redução da taxa de infiltração de água no solo nas camadas mais superficiais (Tanner & Mamaril, 1959; Taylor & Brar, 1991; Trein et al., 1991; Gaggero, 1998; Bertol et al., 1998; Bertol et al., 2000; Cassol, 2003). Por outro lado, a deposição de excrementos de origem animal (fezes e urina), promovem uma maior atividade da meso e macrofauna do solo, o que gera a formação de um grande número de galerias no interior do solo (bioporos) (Edwards et al., 1988), pelos quais pode se dar o deslocamento de partículas de calcário, favorecendo a correção da acidez do solo em subsuperfície. Ao pastejar as culturas de cobertura, o animal vai estar diminuindo a quantidade de carbono que vai ser aportada ao solo, sob a forma de resíduo vegetal. Por outro lado, o animal adiciona ao solo fezes e urina, contribuindo para o aumento do teor de carbono do solo. A decomposição e a degradação de resíduos vegetais pela microbiota do solo libera ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais atuam como ligantes orgânicos, favorecendo o aumento de Ca e Mg e a diminuição do alumínio fitotóxico em profundidade (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Franchini et al., 2000; Miyazawa et al., 2000). Fenômeno semelhante espera-se que ocorra quando da degradação dos resíduos animais, principalmente das fezes.

Conforme salientado por Amaral (2002), o volume de macro e bioporos e a quantidade de resíduos vegetais adicionada, são fatores que interferem no efeito, em profundidade, do calcário aplicado superficialmente no solo. Por sua vez, esses fatores sofrem influência do animal em áreas de integração lavoura-pecuária conduzidas sob SPD. Portanto, a utilização desses sistemas de integração pode promover alterações na dinâmica do calcário no SPD.

Um dos grandes efeitos das pastagens é o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo. Áreas sob pastejo também têm, no entanto, a tendência de apresentar menores valores de pH, cuja magnitude dessa variação depende do manejo adotado (Williams, 1980). O

aumento do teor de matéria orgânica, por elevar a capacidade de troca de cátions do solo, favorece a presença de H^+ no complexo de troca, contribuindo para a diminuição do pH do solo.

As informações sobre a dinâmica da calagem em sistemas de integração lavoura-pecuária sob SPD são escassas, sendo freqüentemente encontrados, na literatura, trabalhos que enfocam calagem em áreas de pastagem de forma isolada ou em áreas de pastagem que foram transformadas em lavouras (Gatiboni, 1999; Kaminski et al., 2000; Rheinheimer et al., 2000a). Observa-se que as pastagens de leguminosas apresentam melhores respostas à calagem do que as de gramíneas (Gatiboni, 1999) e que o efeito do calcário geralmente se restringe à camada superficial até 5 cm (Macedo et al., 1979; Gatiboni, 1999).

Em áreas de integração lavoura-pecuária, a utilização de elevada lotação animal por área pode promover alterações nos atributos físicos do solo, as quais podem comprometer o efeito em profundidade do calcário aplicado na superfície do solo, assim como pode comprometer o desenvolvimento da cultura subsequente ao ciclo de pastejo. Por outro lado, a presença de um grande número de animais por área, significa uma maior deposição de excrementos, principalmente de fezes. De forma análoga aos resíduos vegetais, espera-se que esses resíduos animais, liberem ácidos orgânicos de baixo peso molecular durante a sua degradação, que servem como ligantes orgânicos, contribuindo para a descida no perfil do solo de produtos resultantes da dissolução do calcário e na diminuição da fitotoxicidade do alumínio as raízes das plantas. Variações na magnitude desses efeitos podem ocorrer com a utilização de diferentes pressões de pastejo, em função dessas afetarem, em maior ou menor grau, os atributos físicos e químicos do solo. A avaliação dessas alterações, nos atributos físicos e químicos afetando a dinâmica do calcário em profundidade e o rendimento de grãos da cultura da soja, constitui-se em foco importante deste trabalho.

2.4. Estabelecimento e rendimento das culturas após o pastejo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob SPD

As alterações nos atributos físicos do solo provocadas pelo pisoteio animal, mesmo ocorrendo predominantemente na camada superficial do solo

(Tanner & Mamaril, 1959; Taylor & Brar, 1991; Trein et al., 1991; Gaggero, 1998; Bertol et al., 1998; Bertol et al., 2000; Cassol, 2003), causam um aumento da densidade e diminuição da macroporosidade e da porosidade total do solo, e podem dificultar o estabelecimento das culturas que vem na seqüência do pastejo.

A redução na emergência de plantas em áreas sob SPD anteriormente submetida a pastejo, pode ser atribuída à dificuldade de penetração dos órgãos sulcadores das semeadoras no solo, fazendo com que parte da semente fique localizada próximo à superfície do solo, em condições desfavoráveis à germinação (Trein et al., 1991). Assim, a semeadura direta de milho com sulcador resultou em maior rendimento de grãos quando comparado com outros sistemas de preparo do solo, em área submetida a dois períodos de pastejo de 20 e 22 horas, com cargas animais de aproximadamente 15.000 e 16.200 kg PV ha⁻¹, respectivamente (Uhde et al., 1996).

Por outro lado, o nível de compactação do solo provocado pelo pisoteio animal, durante 105 dias de pastejo em uma pastagem de aveia+azevém, não foi suficiente para promover redução do rendimento de grãos de milho em área conduzida sob SPD (Bassani, 1996). Segundo Albuquerque et al. (2001), o pisoteio animal e o trânsito de máquinas e implementos agrícolas, no período do inverno, aumentaram a densidade do solo e a resistência à penetração e reduziram a sua macroporosidade, de forma a diminuir o crescimento e a produtividade da cultura do milho. Os danos provocados por essas alterações podem ter sido agravados pela ocorrência de um período de déficit hídrico prolongado nessa cultura. Fato semelhante também foi observado por Cassol (2003) na mesma área experimental do presente trabalho. A não ocorrência de déficit hídrico contribuiu para amenizar e mesmo neutralizar o efeito da maior densidade do solo sob SPD, independentemente se com ou sem pastejo no inverno, sobre o rendimento de grãos e de silagem de milho, em relação à áreas sob sistema convencional de cultivo manejadas da mesma forma (Silva et al., 2000). Assmann et al. (2003) observaram maiores produtividades de milho em áreas pastejadas no inverno com aplicação de nitrogênio em relação a áreas não pastejadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Histórico, localização e caracterização da área experimental

O experimento está sendo conduzido desde maio de 2001 em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões - RS, região fisiográfica do Planalto Médio. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (unidade de mapeamento Santo Ângelo), profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e textura muito argilosa (mais de 600 g kg⁻¹ de argila). O relevo é ondulado a suavemente ondulado. A área na qual foi implantado o experimento estava sendo conduzida sob sistema plantio direto desde 1994, sendo utilizada no verão para produção de grãos de soja e no inverno para produção de semente de aveia.

No mês de julho de 2000, pela primeira vez foram utilizados animais na área experimental, que permaneceram por um período de três semanas sobre uma pastagem de aveia preta+azevém, implantada por semeadura direta. Após, foi estabelecida a cultura da soja, também em semeadura direta. No outono (maio) de 2001, após a colheita da soja o experimento teve início com a implantação das espécies de inverno: aveia preta (100 kg de sementes ha⁻¹), via semeadura direta, mais azevém (ressemeadura natural). A área total do experimento, de aproximadamente 23 hectares, foi dividida em três blocos com quatro piquetes cada um, cujas áreas variaram de um a três hectares. Entre os blocos, foi deixada uma faixa de 10 m, sem pastejo, com o mesmo manejo aplicado aos demais piquetes, para a pastagem no inverno e para a cultura da soja, sendo o tratamento testemunha do experimento.

Foi efetuada uma coleta de amostras de solo antes da entrada dos animais, para caracterização de seus atributos físicos e químicos. Além disso, foi determinada a taxa de infiltração de água no solo pelo método dos anéis

concêntricos, conforme metodologia descrita por Cauduro & Dorfman (1986), em três pontos por piquete (parcela). Os atributos físicos determinados em laboratório foram a densidade do solo, a macroporosidade e a microporosidade, nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5,0 e 5 a 10 cm. Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo (em H₂O), o índice SMP e cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), em camadas de 2,5 cm até a profundidade de 20 cm e na camada de 20 a 25 cm. Os resultados dessas determinações foram apresentados por Cassol (2003).

3.2. Tratamentos e condução da primeira etapa do experimento

Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, consistindo do manejo da pastagem em diferentes alturas: 10, 20, 30 e 40 cm (Figura 2). O acompanhamento da altura da pastagem foi feito a um intervalo de 14 dias, utilizando-se o método Sward stick (Bircham, 1981). A altura da pastagem foi controlada pelo manejo da carga animal nos poteiros, a qual era variável entre os tratamentos, pois as parcelas em que os tratamentos foram aplicados possuíam diferentes tamanhos, sendo maiores nos tratamentos com menor pressão de pastejo, ou seja, nos tratamentos com maior altura de manejo da pastagem.

Foi adotado de pastejo contínuo, sendo que os animais entravam na pastagem quando essa atingia uma determinada altura, e deixavam a área quando a pastagem começava a senescer, normalmente no início do mês de novembro. Foram utilizados bovinos jovens, com idade entre 8 a 9 meses, sem padrão racial, oriundos da própria Fazenda do Espinilho. Os animais, com um peso médio de 222 kg, entraram na área experimental no dia 24/07/2001, época em que a pastagem apresentava uma altura média de 25 cm e uma massa de forragem de 1707 kg ha⁻¹ de matéria seca. Os mesmos permaneceram em pastejo na área até o dia 05/11/2001, totalizando um período de pastejo de 104 dias.

Logo após a saída dos animais das parcelas, foi feita uma amostragem de solo, para se verificar as alterações nos atributos químicos e físicos do solo devidas ao pastejo. Os atributos químicos determinados foram

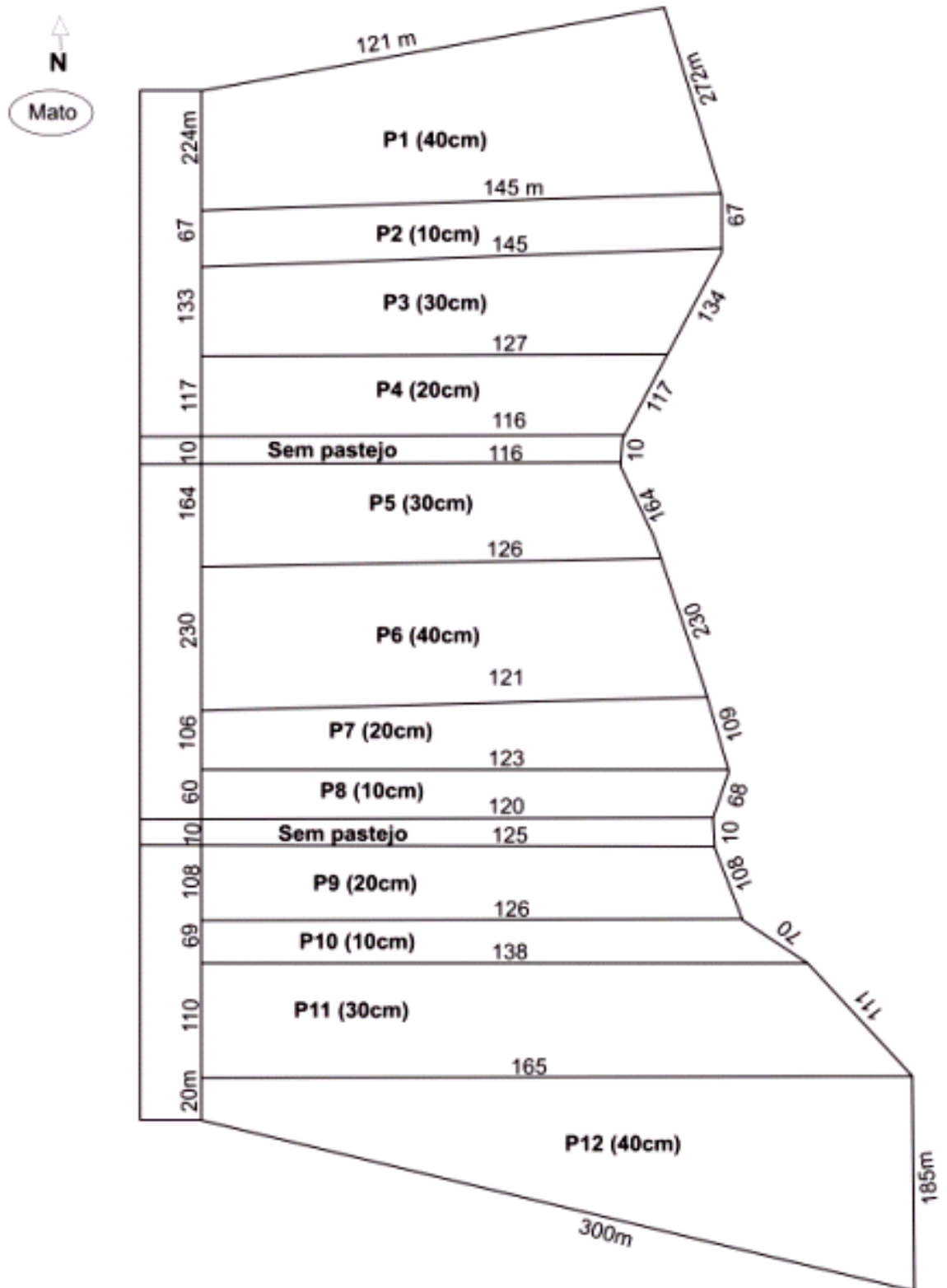


FIGURA 2. Croqui da área experimental. Fazenda do Espinilho – São Miguel das Missões/RS.

pH (em H₂O), índice SMP, Ca, Mg, Al, P, K e carbono orgânico total (COT), conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os atributos físicos avaliados foram os mesmos determinados antes do início do pastejo.

Após a amostragem do solo e antes da semeadura da cultura da soja, foi feita na área, no dia 08/12/2001, a aplicação superficial de calcário (PRNT 62%), na dose de 4,5 Mg ha⁻¹, utilizando-se, para tanto, um caminhão esparramador. A área entre os blocos, sem pastejo, foi dividida em duas partes, sendo aplicado calcário em uma delas, na mesma dose que nos demais tratamentos.

A cultura da soja foi implantada no dia 10/12/2001 por semeadura direta, utilizando-se uma adubação de base com 300 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. Foi utilizada a variedade de soja utilizada foi a Iguçu, de ciclo precoce e crescimento indeterminado.

A soja foi colhida no dia 06/05/2002, totalizando um ciclo de 147 dias. Após essa colheita da soja, foi feita outra amostragem de solo, de forma similar àquela coletada logo após a saída dos animais da área.

No dia 13/05/2002 foi implantada, por semeadura direta, a pastagem de inverno, composta por 100 kg ha⁻¹ de aveia preta e 25 kg ha⁻¹ de azevém, com uma adubação de base de 300 kg ha⁻¹ com superfosfato simples na semeadura e uma aplicação de nitrogênio na dose de 45 kg ha⁻¹ 39 dias após, na forma de uréia. O segundo ciclo de pastejo foi iniciado no dia 16/07/2002, época em que a pastagem apresentava uma altura média de 20 cm e um acúmulo de forragem de 1.471 kg ha⁻¹ de matéria seca. O manejo das alturas da pastagem e dos animais foi feito de forma idêntica ao ano anterior. Este ciclo foi mantido até o dia 13/11/2002, totalizando um período de pastejo de 120 dias.

Outros detalhes da condução do experimento até a fase descrita, assim como os resultados obtidos nos dois primeiros ciclos de pastejo e no primeiro ciclo da cultura da soja, foram apresentados por Cassol (2003).

3.3. Etapa experimental referente ao presente trabalho

3.3.1. Condução do experimento

Após a retirada dos animais da área e encerramento do segundo ciclo de pastejo, foi feita outra amostragem de solo (em novembro de 2002), para verificar os efeitos do pisoteio animal sobre os atributos físicos e químicos do solo.

Após a amostragem do solo, foi iniciado o segundo ciclo da cultura da soja, a qual foi implantada por semeadura direta, no dia 17/12/2002, utilizando-se um espaçamento entre linhas de 0,45 m, com uma adubação de base de 300 kg da fórmula 0-20-30. Utilizou-se uma semeadora-adubadora PSM HY-TECH 8000 SFIL, com 2.800 kg de peso, oito linhas de plantio, disco liso de corte da palha, sulcador para adubo tipo facão e sulcador para sementes de discos duplos desencontrados.

As quantidades médias de resíduo vegetal (aveia+azevém e resíduo remanescente na superfície do solo), sobre as quais foi feita a semeadura da soja, nos tratamentos 10, 20, 30, 40 cm de altura e na área sem pastejo foram de, aproximadamente, 1850, 3900, 4900, 5400 e 6050 kg de MS ha⁻¹, respectivamente.

Foi feita uma avaliação da população de plantas de soja no dia 23/01/2003, há aproximadamente 30 dias após a emergência. Essa avaliação foi feita contando-se o número de plantas por metro linear e em 10 pontos por potreiro nos tratamentos com diferentes alturas de manejo da pastagem e na área sem pastejo.

O controle de plantas indesejáveis, pragas e doenças foi feito em três épocas, utilizando-se os seguintes produtos e doses: 1) aos 25 dias pós-plantio: 1 L de Pivot ha⁻¹; 2) aos 45 dias pós-plantio: uma mistura de 250 mL de Select ha⁻¹ (herbicida) + 250 mL de Derosal ha⁻¹ (fungicida) + 16 g de Dimilin ha⁻¹ (inseticida); e 3) na floração e início da formação de vagem: 200 mL de Derosal ha⁻¹ + 100 g de Palisade ha⁻¹ (fungicidas) + 20 g de Dimilin ha⁻¹.

A soja foi colhida em 01/05/2003, totalizando 134 dias de ciclo da cultura. Após a colheita da soja foi feita outra amostragem do solo, para verificar

as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos após o segundo cultivo da soja.

3.3.2. Análises e determinações

3.3.2.1. Atributos físicos do solo

Os parâmetros físicos do solo avaliados foram a densidade, a macroporosidade, a microporosidade e a compressibilidade.

Para a avaliação da densidade e da porosidade, foram coletadas, em todas as parcelas pastejadas e na área sem pastejo, amostras indeformadas de solo em anéis metálicos, com dimensões médias de 24 mm de altura e 63 mm de diâmetro, nas profundidades de 0 a 2,5 e 2,5 a 5,0 cm. Na profundidade de 5 a 10 cm, foram utilizados anéis maiores, com dimensões médias de 49 mm de altura e 84 mm de diâmetro. A retirada de todos os anéis foi feita na mesma oportunidade para todas as avaliações, em trincheiras de aproximadamente 20 x 50 x 30 cm, sendo retiradas amostras em três pontos por tratamento para determinação da densidade e da porosidade nas profundidades acima especificadas. Nestas mesmas trincheiras, foram coletados, no mesmo momento, as amostras para as determinações dos atributos químicos do solo.

Na amostragem de solo para determinação da compressibilidade, foram coletados, nos tratamentos 10 e 30 cm de altura de manejo da pastagem e na área sem pastejo, anéis de dimensões médias de 24 mm de altura e 63 mm de diâmetro, nas profundidades de 2,5 a 5,0, 7,5 a 10,0 e 12,5 a 15,0 cm. A opção pela avaliação da compressibilidade em somente três tratamentos, foi devido à grande demanda de tempo necessário para a execução dessa determinação. A escolha dos dois tratamentos de altura da pastagem, para a determinação da compressibilidade, se deve ao fato de se querer conhecer essas alterações no tratamento com maior pressão de pastejo (10 cm) e naquele que vinha apresentando, até então, os melhores resultados de ganho de peso (30 cm). Os anéis foram retirados em apenas um local por potreiro, porém em triplicata, coletando-se um ao lado do outro, nas três profundidades. As amostras foram coletadas em locais afastados das divisas entre os potreiros e das áreas em que foram colocados a água e o sal mineral. Como a compressibilidade normalmente

apresenta grande variabilidade, procurou-se coletar os anéis em local próximo à coleta anterior, para diminuir o efeito da variabilidade espacial.

Depois de coletados, os anéis destinados às avaliações de densidade e de porosidade foram colocados em latas com tampa vedada com fita, para evitar a perda de umidade do solo até a determinação em laboratório. Com esse mesmo objetivo, as amostras destinadas à avaliação da compressibilidade foram revestidas em papel alumínio e fita adesiva. As amostras foram mantidas em caixa de isopor até o momento da análise.

No laboratório, foi feito um acabamento melhor do toailete do que aquele feito no campo, para ajustar o volume de solo ao volume do anel, antes das amostras serem colocadas para saturar em recipiente com água. Após um período de aproximadamente 24 horas, as amostras foram retiradas e colocadas em funis de Buckingham, nos quais ficavam aproximadamente 48 horas sob uma tensão de 60 cm de coluna de água. Após esse período nos “funis”, as amostras eram pesadas, sendo as destinadas à avaliação da densidade e da porosidade postas em estufa a 105°C por um período de aproximadamente 48 horas, enquanto as destinadas à determinação da compressibilidade foram analisadas conforme o procedimento descrito adiante.

Para a determinação do diâmetro de poros (macro e microporosidade), foi utilizado o modelo capilar para o cálculo na tensão de 60 cm de coluna da água, em amostras de solo com estrutura natural (Bouma, 1973).

O teor de umidade das amostras destinadas à determinação da compressibilidade do solo foi homogeneizado, colocando-se essas amostras nos “funis” sob uma sucção de 60 cm de coluna de água. Depois de retiradas dos “funis” e pesadas, as amostras foram postas em uma prensa oedométrica, para a condução dos testes de compressibilidade. Os testes de compressibilidade seguiram o procedimento determinado pela ABNT (1990). Na prensa, as amostras foram submetidas a cargas equivalentes a 12,5, 25, 50, 100, 200, 400 e 800 KPa, por um período de 5 minutos, em função de ensaios feitos previamente. Com os dados das deformações ocorridas no solo e dados referentes à amostra de solo e ao anel, utilizou-se o programa *Compress 1.0* (Reinert et al., 2003) para a construção das curvas de compressibilidade e determinação da pressão de pré-

consolidação e do índice de compressibilidade. Foi escolhido o método “Casa Grande - Método 1” para a determinação da pressão de pré-consolidação, dentro do referido *software*.

3.3.2.2. Atributos químicos do solo

A amostragem para determinação dos atributos químicos do solo foi feita em oito locais (trincheiras) por potreiro, inclusive nos três utilizados para coleta das amostras indeformadas. Foram retiradas, com pá-de-corte, amostras nas seguintes profundidades: 0 a 2,5; 2,5 a 5,0; 5,0 a 7,5; 7,5 a 10,0; 10,0 a 12,5; 12,5 a 15,0; 15,0 a 17,5; 17,5 a 20,0 e 20,0 a 25 cm. Foram determinados os seguintes atributos químicos no solo: pH do solo (em H₂O), índice SMP, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis (extraídos com KCl 1,0 M), fósforo e potássio disponíveis (extraídos com solução Mehlich-1) e carbono orgânico total (COT). Para essas determinações foi utilizada a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), pesando-se as amostras ao invés de usar medidas calibradas. Foram calculadas a CTC efetiva, a saturação por bases (V) e a saturação por alumínio (m).

3.3.2.3. Atributos de planta

Aos 30 dias após a semeadura da soja, foi feita uma avaliação do estande de plantas. Para tanto, contou-se o número de plantas por metro linear em 10 e cinco pontos por parcela nas áreas pastejadas e não pastejadas, respectivamente.

No final do segundo ciclo da soja foi feita a avaliação do rendimento de grãos da cultura. Foram coletadas as plantas contidas em um metro linear em 10 pontos em cada potreiro e na área sem pastejo. Essas amostras foram levadas para laboratório, onde as vagens foram destacadas do restante da planta. A seguir, as vagens foram postas em estufa a 60°C até atingirem peso constante e então foram debulhadas e a massa de grãos pesada. O rendimento de grãos por hectare foi expresso ajustando-se o teor de umidade dos grãos para 130 g kg⁻¹.

3.3.2.4. Análise estatística

Os resultados das avaliações feitas foram submetidos à análise da variância, utilizando-se o Teste DMS ($P < 0,05$) para a separação das médias. Para a análise dos atributos de solo, foi imposta, na análise da variância, uma restrição ao fator profundidade de amostragem, sendo utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro a (i,j)} + P_k + \text{erro b (i,k)} + AP_{jk} + \text{erro c (i,j,k)} \quad (1)$$

onde:

B = blocos ($i = 1,2,3$); A = alturas de manejo da pastagem ($j = 1,2,3,4$, parâmetros físicos; $j = 1,2,3,\dots,6$, parâmetros químicos); P = profundidades de amostragem ($k = 1,2,3$, parâmetros físicos; $k = 1,2,3,\dots,9$, parâmetros químicos).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seqüência é apresentada e discutida, a influência do pisoteio animal, em uma área de lavoura em sistema de integração lavoura-pecuária no SPD, sobre atributos físicos e químicos do solo. Maior ênfase é dada aos resultados obtidos após o segundo ciclo de pastejo e após o segundo ciclo da cultura da soja. Além disso, são apresentados os resultados dos atributos físicos, desde o início do experimento, e químicos do solo, desde a aplicação do calcário, a fim de verificar as variações desses atributos no tempo. Os resultados obtidos até o final do segundo ciclo de pastejo foram apresentados e discutidos por Cassol (2003).

4.1. Alterações nos atributos físicos do solo devido ao pisoteio animal

4.1.1. Após o segundo ciclo da cultura da soja

Após 120 dias do segundo pastejo contínuo, verifica-se que há somente uma tendência de aumento dos valores de densidade do solo à medida que diminuem as alturas de manejo da pastagem (Figura 3a). No entanto, os valores foram menores ($P < 0,05$) na área sem pastejo (SP) em relação às áreas pastejadas. Nessa ocasião, a macroporosidade, a microporosidade e a porosidade total na camada de 0-2,5 cm (Figuras 4a, 5a e 6a), foram maiores na área sem pastejo, sendo que, dentre as alturas de manejo da pastagem, a de 40 cm tende a apresentar os maiores valores desses atributos. Com o aumento da profundidade há uma diminuição e aproximação dos valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total entre os tratamentos.

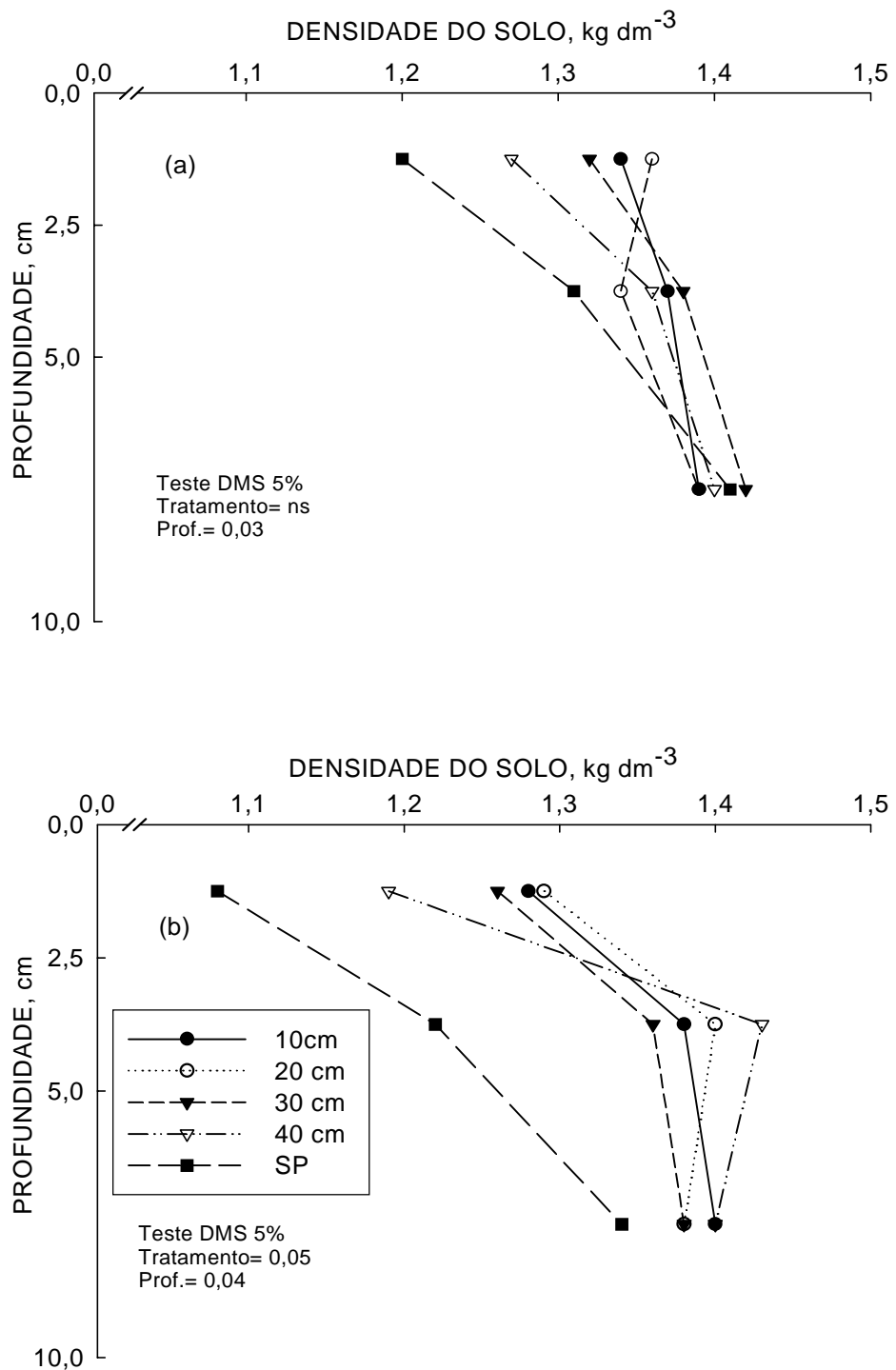


FIGURA 3. Densidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

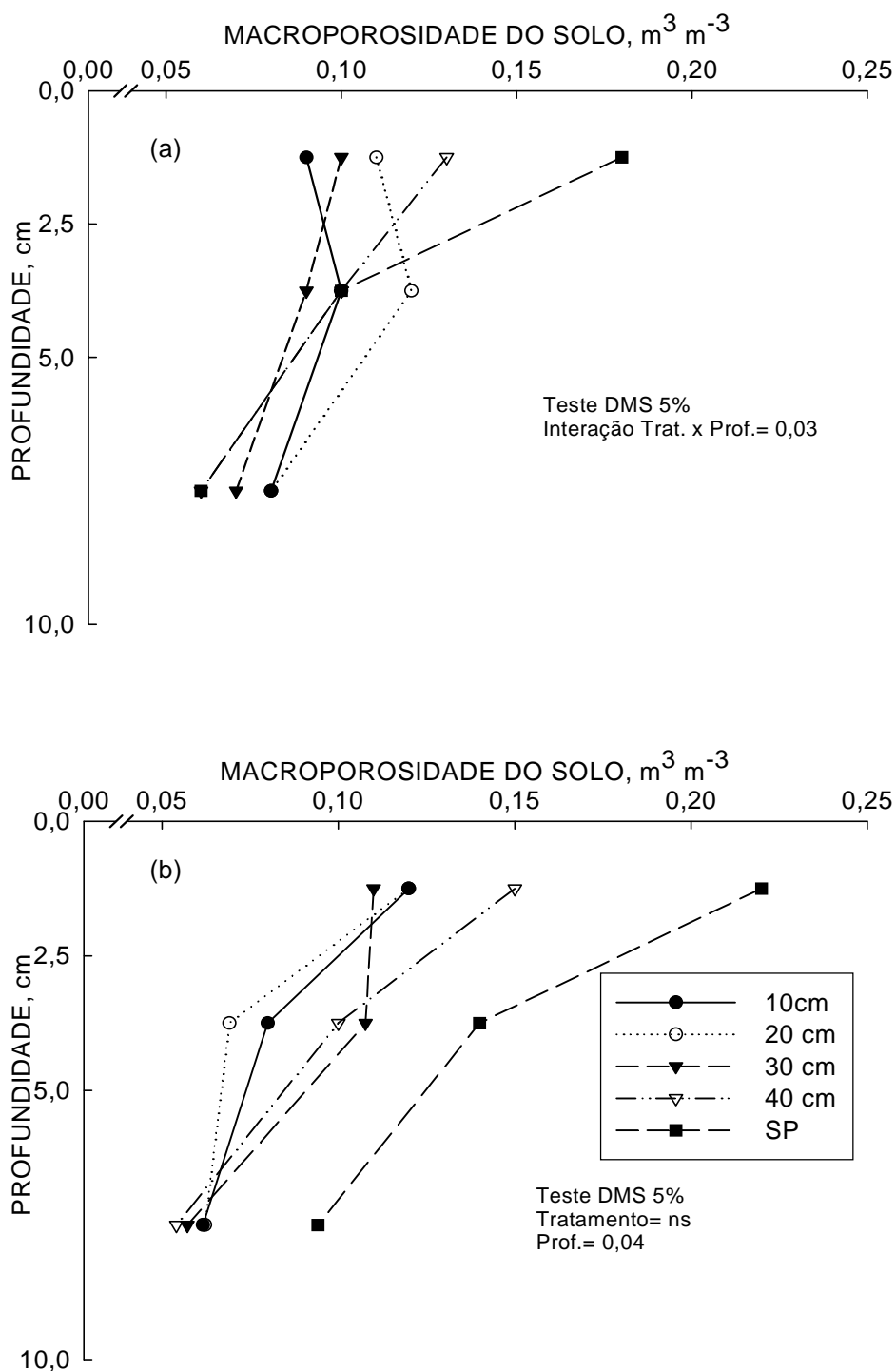


FIGURA 4. Macroporosidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

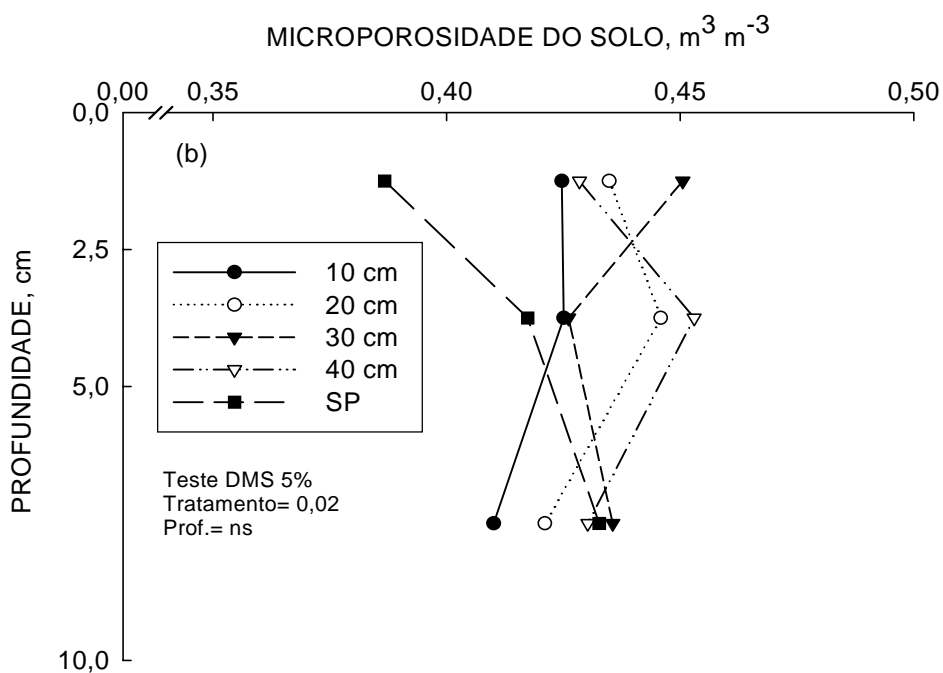
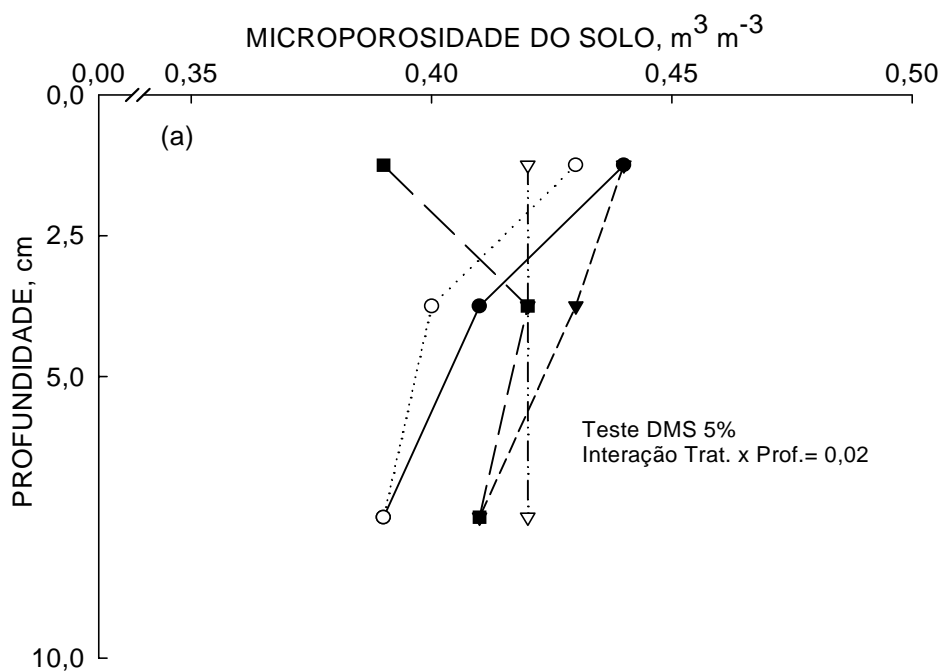


FIGURA 5. Microporosidade do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) e após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

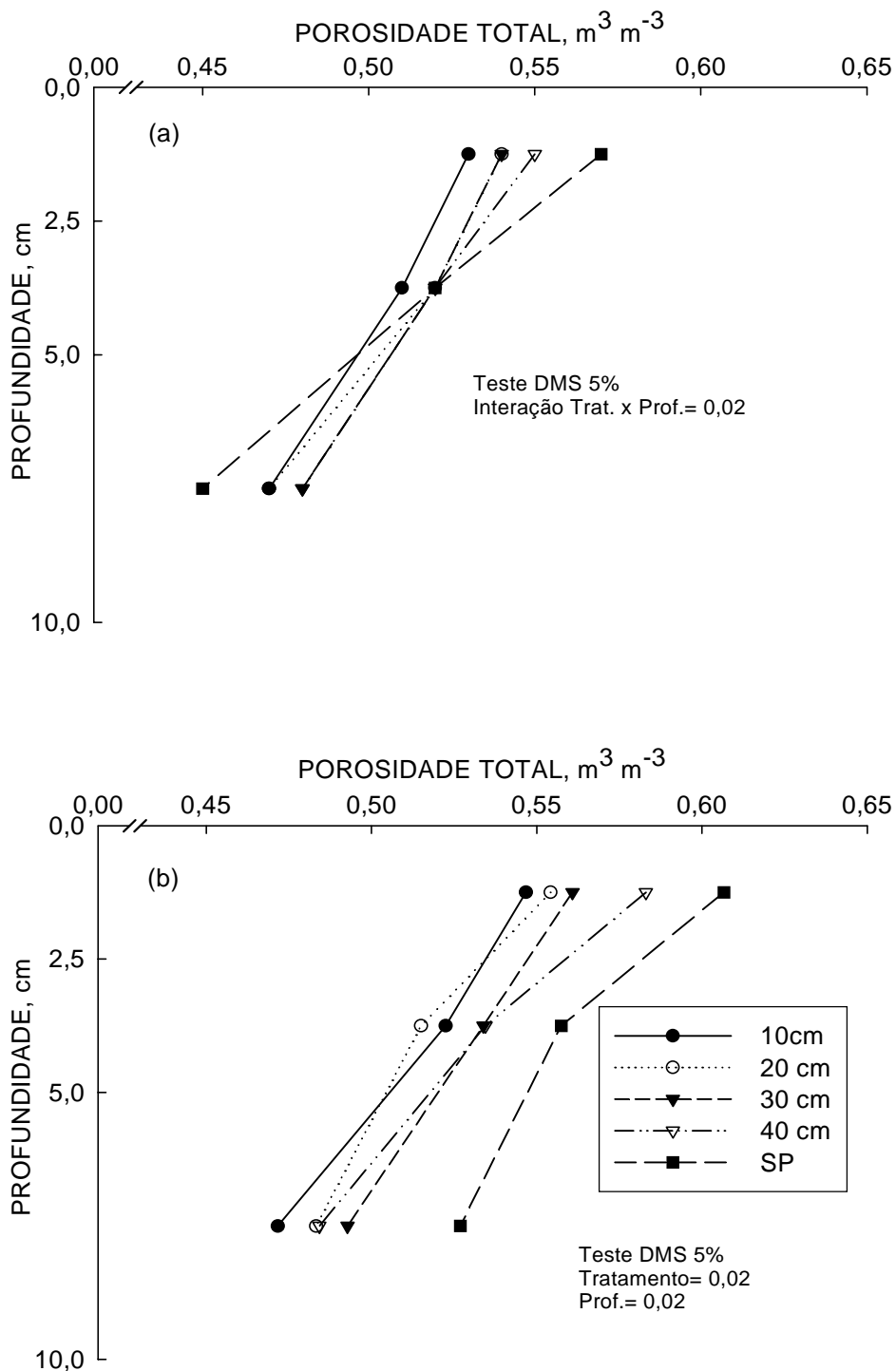


FIGURA 6. Porosidade total do solo após o segundo ciclo de pastejo (a) após o segundo ciclo da cultura da soja (b) em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

Assim, os resultados verificados após o segundo ciclo de pastejo, negam a primeira hipótese de trabalho, de que à medida que diminui a altura de manejo da pastagem, com o aumento da carga animal por área, haveria a formação de níveis crescentes de compactação do solo, e com o aumento da compactação do solo a macroporosidade e a porosidade total diminuiriam e a microporosidade aumentaria, o que não ocorreu ($P > 0,05$). Isso já havia ocorrido no pastejo anterior, com duração de 104 dias, nessa mesma área (Cassol, 2003).

Uhde et al. (1996) também não encontraram diferenças para densidade, macroporosidade e microporosidade, após dois pastejos sobre trevo subterrâneo, com alta lotação animal e num curto intervalo de tempo, 15.000 kg PV ha⁻¹ por 20 horas e 16.200 kg PV ha⁻¹ por 22 horas. Da mesma forma, Bassani (1996) e Silva et al. (2000) não observaram influência do pisoteio animal sobre a densidade em solos da Depressão Central do RS, mais arenosos que o deste trabalho, o que foi atribuído ao resíduo da pastagem de aveia + azevém (2,0 Mg ha⁻¹ e 1,0 Mg ha⁻¹, respectivamente) que permaneceu sobre o solo durante o período de pastejo.

Ao final do primeiro ciclo de pastejo do presente trabalho (novembro de 2001), a quantidade de biomassa de forragem presente na área foi inferior a 1 Mg ha⁻¹ apenas nos últimos dias de pastejo, o que deve ter contribuído para que não houvesse efeito das diferentes alturas de pastejo sobre os atributos físicos do solo (Cassol, 2003). No final do segundo ciclo de pastejo (novembro de 2002), as quantidades de biomassa vegetal da pastagem + resíduo remanescente na superfície do solo, de 1,85 Mg ha⁻¹ a 5,4 Mg ha⁻¹, da menor para a maior altura de manejo da pastagem; na área sem pastejo, a quantidade de resíduo chegou a 6,05 Mg ha⁻¹. Portanto, a cobertura do solo, proporcionada pela pastagem de aveia + azevém + resíduo remanescente, pode ter contribuído para a ausência de diferenças entre os atributos físicos do solo nas diferentes alturas de manejo da pastagem.

Os resultados encontrados, de que o pisoteio animal promove aumento da densidade, ainda que não significativo, e diminuição da macroporosidade e da porosidade total, na camada de 0-2,5 cm, concordam com a literatura (Trein et al. 1991; Moraes & Lustosa, 1997; Gaggero, 1998; Salton et al., 2002), no ponto em que essas alterações se concentram até a profundidade de 5 cm.

Após o segundo ciclo da soja (maio de 2003), a densidade do solo somente tendeu a ser menor na área sem pastejo em relação às áreas pastejadas nas duas camadas superficiais (até 5 cm) (Figura 3b). Esses resultados estão em concordância com os valores de macroporosidade (Figura 4b) e porosidade total (Figura 6b). Na camada de 0-2,5 cm, a área com pastagem manejada a 40 cm de altura, apresentou tendência de menor valor de densidade (Figura 3b) e maiores valores de macroporosidade e porosidade total (Figuras 4b e 6b), em relação às demais alturas de manejo da pastagem. De forma análoga à avaliação realizada imediatamente após a saída dos animais da área (novembro de 2002), os valores de densidade após a soja (maio de 2003) tendem a aumentar e se aproximar entre os tratamentos, com o aumento da profundidade (Figura 3b).

Na comparação entre os resultados obtidos após o pastejo e após a cultura da soja (Figuras 3 a 6), verifica-se, no final do ciclo da soja, que há uma diminuição dos valores de densidade do solo, aumento da macroporosidade e da porosidade total, enquanto que a microporosidade permanece praticamente inalterada. Esse comportamento também foi observado por Moraes & Lustosa (1997) e Cassol (2003).

Os valores de pressão de pré-consolidação (PPc) do solo, na média, foram superiores em todas alturas de manejo da pastagem, na amostragem realizada ao final do ciclo da soja, em comparação àquela realizada ao final do período de pastejo (Tabela 1). Em ambas as amostragens houve o efeito da intensidade de pastejo ($P < 0,05$) sobre a PPc. Verifica-se que há uma tendência de aumento da PPc com o aumento da carga animal por área, em ambas as épocas de amostragem e em todas as profundidades,.

Na amostragem efetuada após o pastejo, ocorre uma maior PPc, em relação a área sem pastejo (SP), principalmente na camada de 2,5-5 cm, o que é atribuído à presença dos animais. Verifica-se que há um aumento da PPc à medida que aumenta a carga animal, do tratamento sem pastejo (SP) para o com pastejo a 10 cm de altura. Esse efeito é mais pronunciado após a soja e à medida que se aprofunda no perfil do solo. O solo naturalmente tende a apresentar maiores valores de densidade com o aumento da profundidade, em função da

TABELA 1. Pressão de pré-consolidação (KPa) de um Latossolo Vermelho distroférico, após o 2º ciclo de pastejo e o 2º cultivo de soja em área submetida à integração lavoura pecuária em plantio direto

Pastejo	Camada, cm			Média
	2,5-5	7,5-10	12,5-15	
Pós pastejo¹				
10 cm	67,5 (0,26) ³	60,7 (0,25)	55,8 (0,26)	61,3 a
30 cm	52,4 (0,26)	49,1 (0,26)	49,8 (0,26)	50,5 b
SP	42,5 (0,28)	49,1 (0,25)	45,6 (0,26)	44,6 c
Pós soja²				
10 cm	76,9 (0,30)	79,6 (0,29)	79,6 (0,29)	78,7 a
30 cm	64,5 (0,31)	71,9 (0,31)	79,7 (0,31)	72,0 a
SP	53,3 (0,36)	58,4 (0,30)	66,6 (0,30)	59,4 b

¹ Letras comparam valores médios de pressão de pré-consolidação entre os tratamentos. Efeito significativo, pelo teste DMS 5%, para o fator tratamento. DMS (5%) = 5,6

² Letras comparam valores médios de pressão de pré-consolidação entre tratamentos. Efeito significativo, pelo teste DMS 5%, para o fator tratamento. DMS (5%) = 7,68

³ Umidade gravimétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)

pressão exercida pelas camadas superiores. Quanto mais denso o solo, mais próximas estão as suas partículas minerais; com isso, é necessária a aplicação de uma força maior para que ocorra um novo rearranjo das mesmas, o que resulta em maiores PPc. Os valores 60,7 e 49,1 KPa, observados na profundidade de 7,5-10 cm para os tratamentos 10 cm e SP, respectivamente, que não seguem a tendência anterior, podem ser devidos ao trânsito de máquinas e implementos na área antes da implantação da pastagem e durante a sua condução.

Os resultados obtidos, tanto após o pastejo como após a soja, contrariam as expectativas iniciais, pois se esperava encontrar maiores valores de PPc após o pastejo, momento no qual o solo estaria mais compactado; ainda mais que, conforme relatado por Moraes e Lustosa (1997) e observado no primeiro ano nesta área experimental por Cassol (2003), a cultura de grãos em sucessão ao pastejo tem a capacidade de reverter a compactação superficial do solo ocasionada pelo pisoteio dos animais.

Num primeiro momento, levantou-se a hipótese de que esse comportamento poderia estar ligado ao teor de umidade das amostras (Dias Junior & Pierce, 1996), o qual seria menor nas amostras após a cultura da soja. Porém, como se pode perceber pelos valores entre parênteses na Tabela 1, a umidade gravimétrica das amostras após a soja foi maior que após o pastejo. Uma outra

hipótese para a explicação desses resultados, é o trânsito mais intenso de máquinas e implementos na área, devido aos tratos culturais dispensados à cultura da soja. Como os poteiros são grandes e a amostragem é realizada ao acaso, pode-se ter amostrado locais nos quais passaram as rodas das máquinas e implementos, interferindo, desta forma, nos resultados obtidos. Uma terceira e última hipótese seria a grande variabilidade espacial que ocorre naturalmente com os atributos físicos do solo.

4.1.2. Em diferentes épocas a partir do início do experimento

Na análise da variação ao longo dos dois ciclos de pastejo-soja, verifica-se, em maior ou menor grau, menores valores de densidade (Figura 7) e microporosidade (Figura 9) e maiores de macroporosidade (Figura 8) do solo em todas as intensidades de pastejo e profundidades do solo na coleta realizada após o primeiro ciclo da soja, em maio de 2002. Interações significativas entre época de amostragem e profundidade, ocorreram nas alturas de pastejo 10 e 30 cm (Figuras 7a e c), 10, 30 e 40 cm (Figuras 8a, c e d) e 10 e 40 cm (Figura 9a e d), para a densidade, a macroporosidade e a microporosidade do solo, respectivamente.

Verificou-se, no final do segundo ciclo da soja (maio de 2003), somente uma tendência de diminuição dos valores de densidade e aumento dos de macroporosidade, sobretudo na camada de 0-2,5 cm, em relação às coletas realizadas após os períodos sob pastejo. Houve diferença ($P < 0,05$) nos valores de densidade na amostragem realizada no final do segundo cultivo de soja (maio de 2003) em relação à efetuada no final do primeiro pastejo (novembro de 2001) no tratamento 10 cm (Figura 7a). Neste mesmo tratamento, os valores de macroporosidade, também na camada 0-2,5 cm, foram superiores ($P < 0,05$) àqueles observados após os dois períodos de pastejo (Figura 8a).

Nas áreas sem pastejo, as quais foram amostradas em duas épocas (novembro de 2002 e maio de 2003), verifica-se após o ciclo da soja, menores valores de densidade (Figura 7e) e maiores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total (Figuras 8e, 9e e 10e), em todas as profundidades, não havendo interação entre época e profundidade de amostragem.

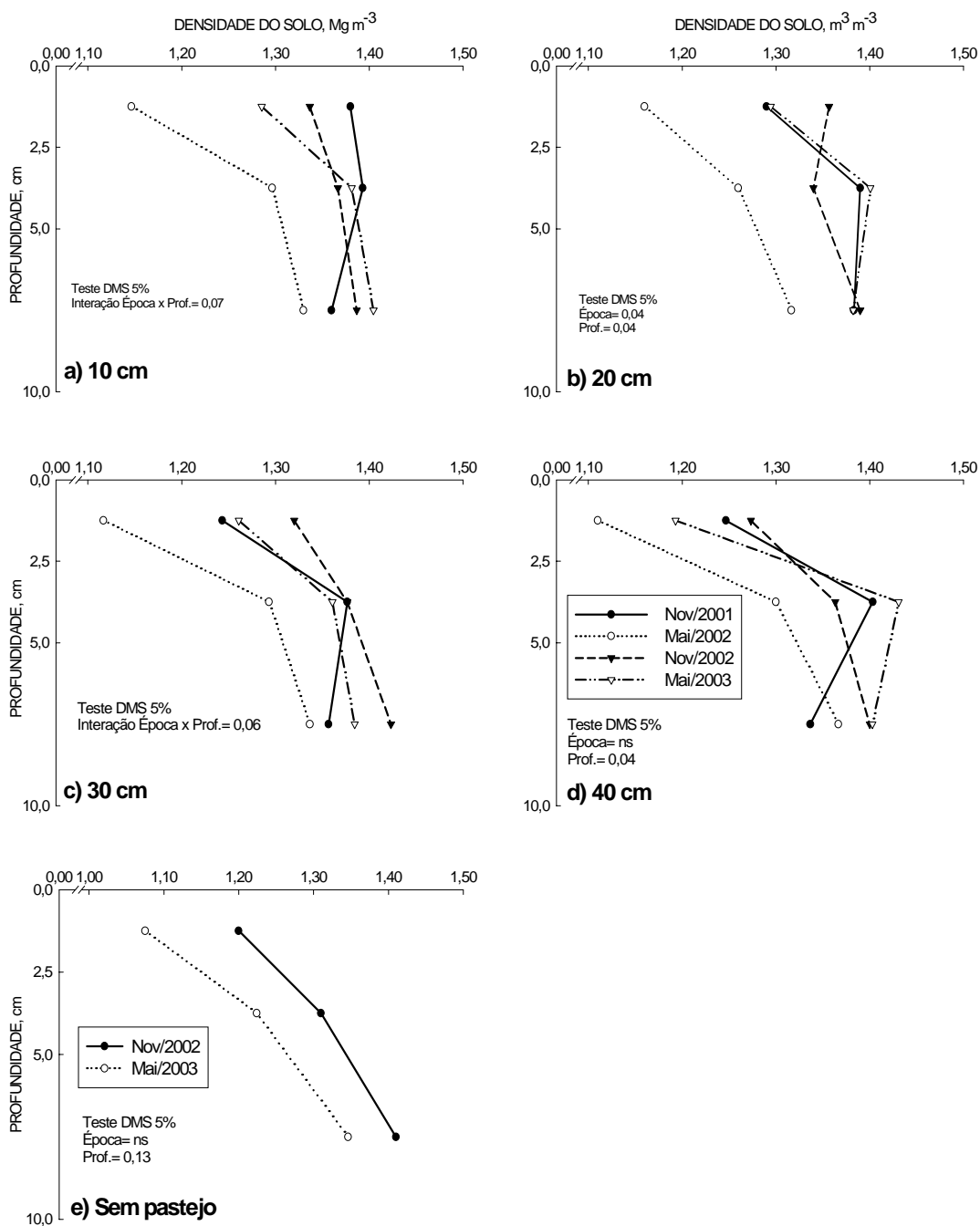


FIGURA 7. Densidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

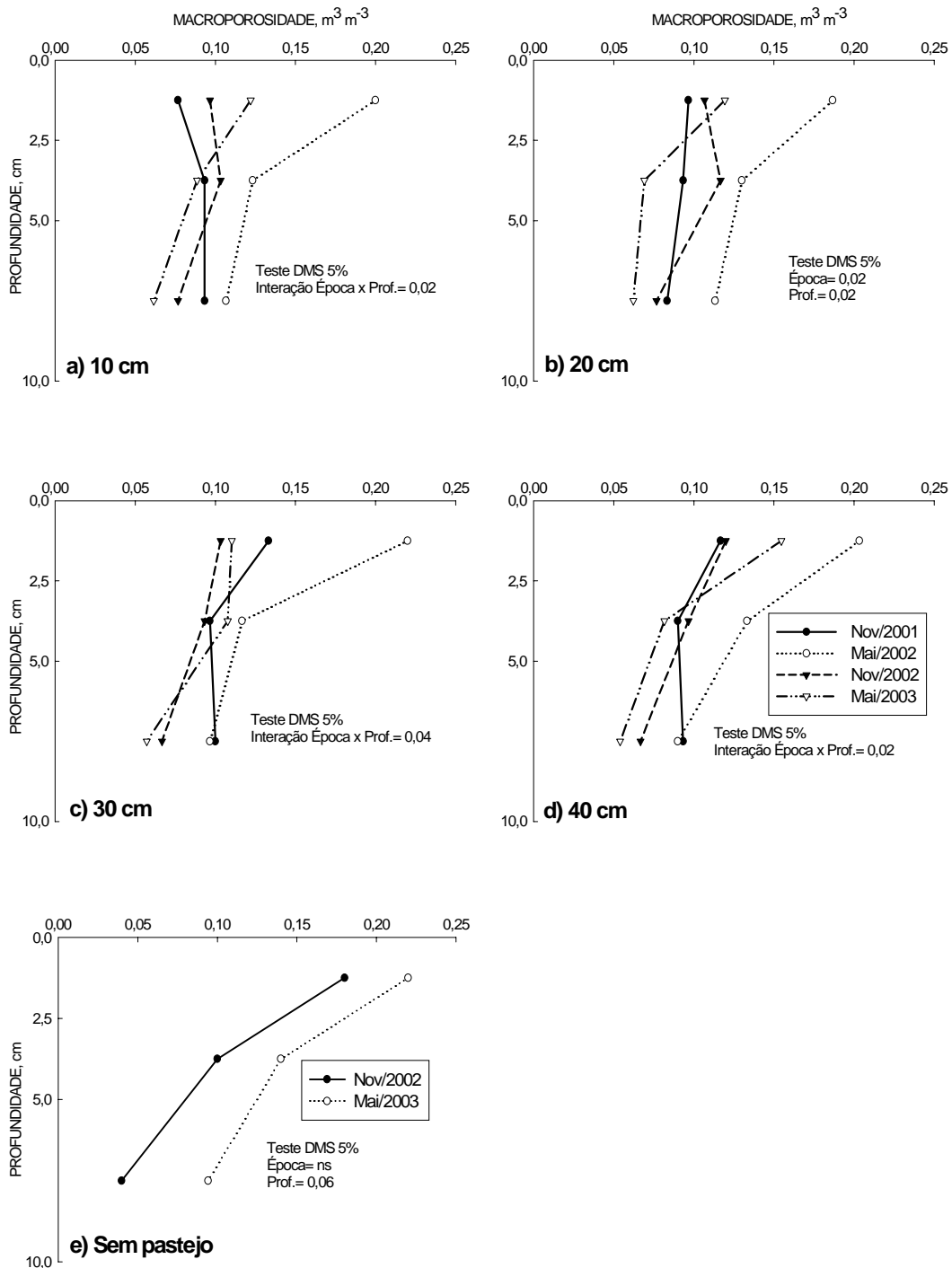


FIGURA 8. Macroporosidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

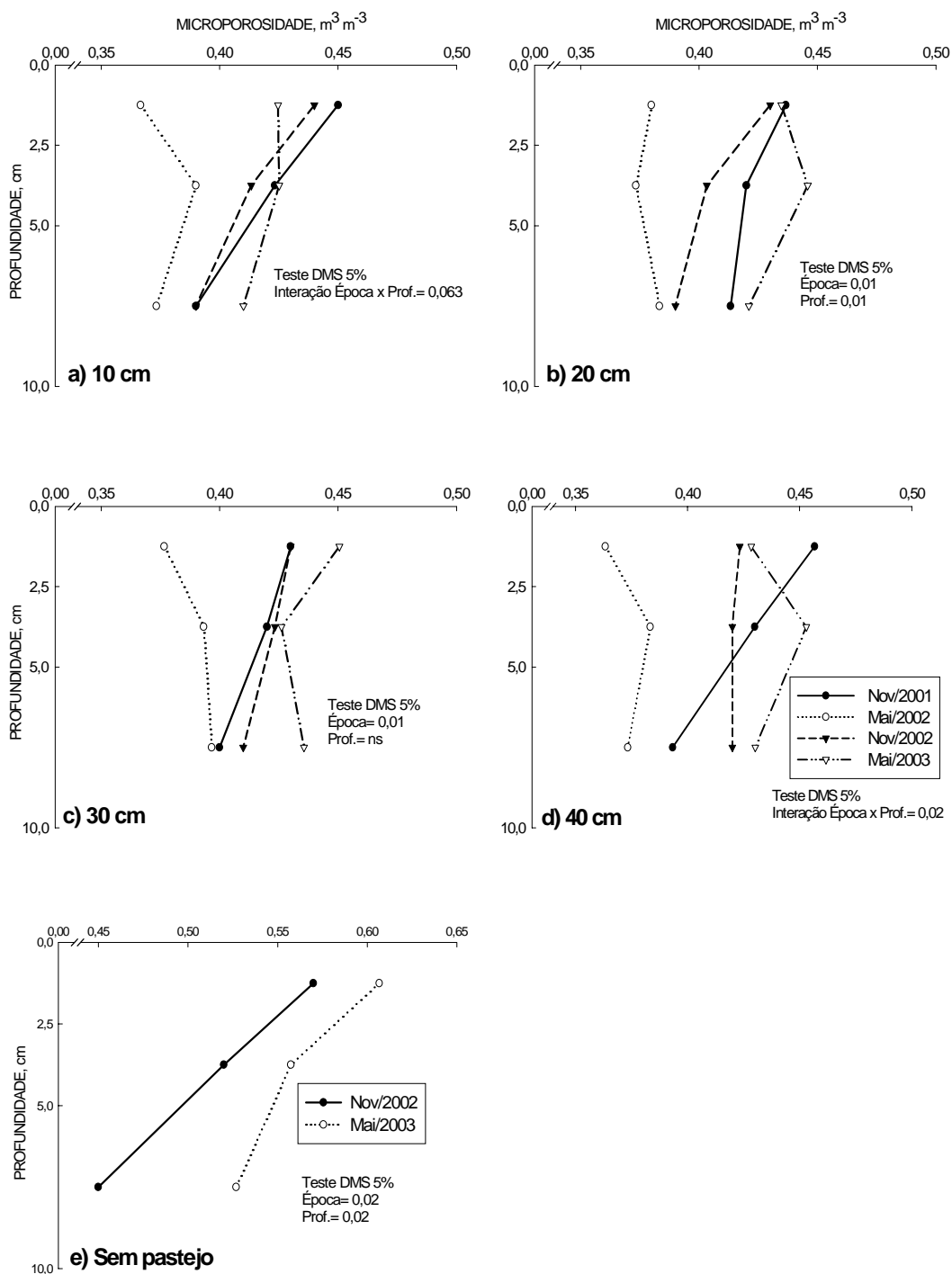


FIGURA 9. Microporosidade do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

Quanto à porosidade total, houve interação ($P < 0,05$) entre a época e a profundidade de amostragem nos tratamentos 10, 20 e 30 cm (Figura 10a, b e c). Maiores valores nesses três tratamentos, na camada 0-2,5 cm, foram observados na coleta realizada após o primeiro cultivo da soja (maio de 2002), não havendo diferenças no tratamento de 20 cm de altura de manejo da pastagem (Figura 10b). Nos tratamentos com maior lotação de animais (10 e 20 cm de altura), os valores de porosidade total somente tenderam a ser maiores na amostragem realizada após o segundo cultivo de soja (maio de 2003), em relação àquelas realizadas pós pastejo (Figura 10a e b). O tratamento 40 cm de altura apresentou comportamento semelhante à área sem pastejo, havendo apenas efeito do fator profundidade apenas (Figura 10d). Isso pode ter ocorrido pela não influência do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo, em uma área com pastagem manejada a 40 cm de altura, com grande quantidade de resíduos vegetais, que diminuem o efeito compactante exercido pelo casco dos animais (Silva et al., 2000).

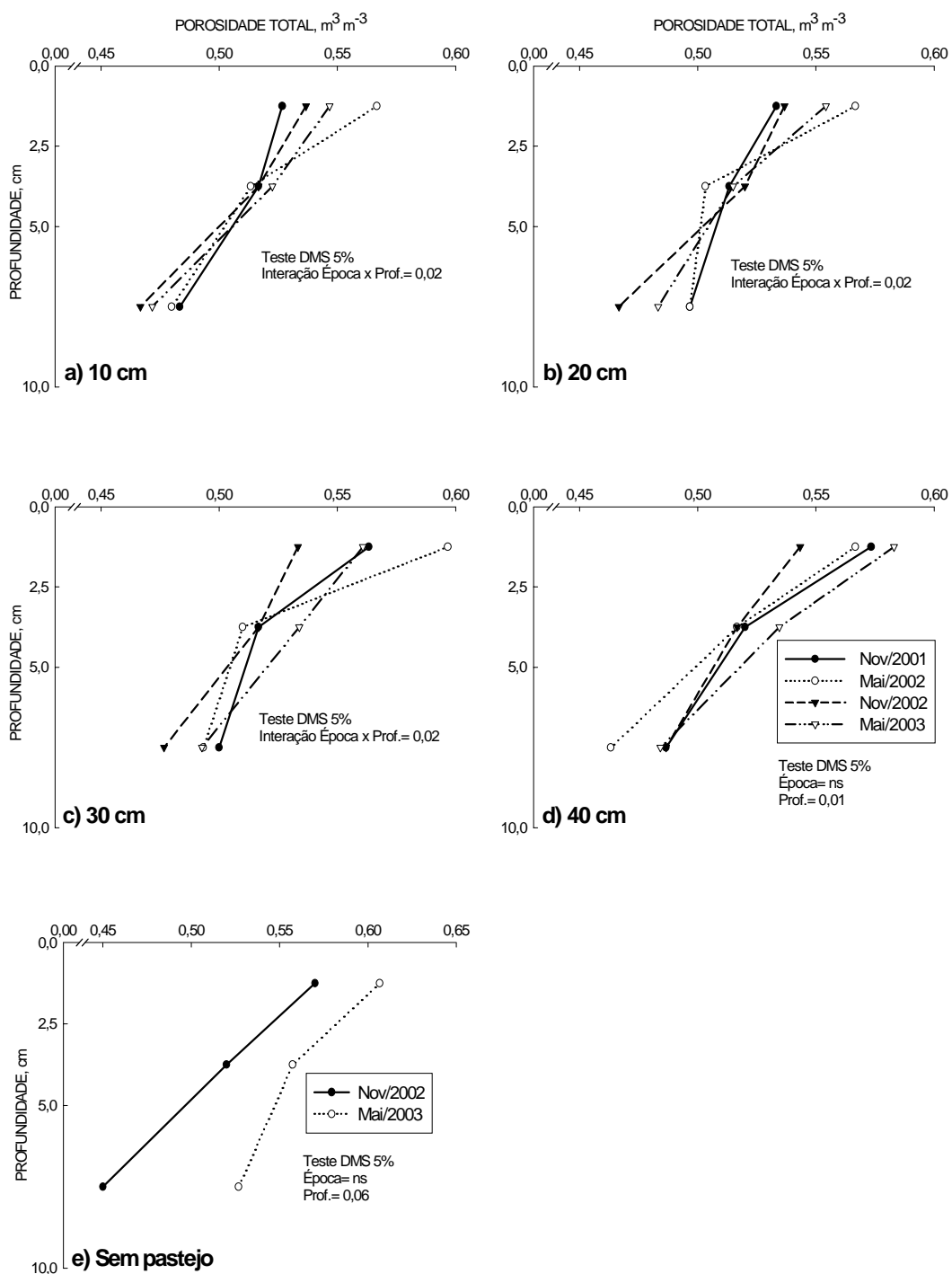


FIGURA 10. Porosidade total do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

4.2. Atributos da acidez do solo com aplicação de calcário na superfície

4.2.1. Após o segundo ciclo da cultura da soja

Os resultados das avaliações aos 5 e 11 meses após a calagem foram apresentados e discutidos por Cassol (2003). Neste trabalho, serão apresentados e discutidos os resultados referentes à amostragem realizada aos 17 meses após a aplicação do calcário, relacionando-os com os resultados obtidos anteriormente.

Aos 17 meses após a aplicação superficial do calcário, foi observada interação ($P < 0,05$) entre os tratamentos nos quais foi aplicado este insumo e as profundidades amostradas para pH-H₂O, Ca, Mg e Al trocáveis, saturação por bases e CTC efetiva (Figuras 11 a 15 e 17, respectivamente), enquanto que para os atributos saturação por alumínio e carbono orgânico total (COT) (Figuras 16 e 18) foi verificado apenas efeito isolado para o fator profundidade de amostragem.

O calcário aplicado superficialmente determinou aumento no pH até a profundidade de 7,5 cm. Esse efeito se estende até 15 cm quando são comparados os valores de pH da área sem pastejo e sem calcário (SP-0) com os tratamentos sob pastejo (Figura 11). Verifica-se que não há influência do manejo da pastagem em diferentes alturas no efeito, em profundidade, do calcário aplicado em superfície sobre o pH, uma vez que a área sem pastejo e com calcário (SP-4,5) teve comportamento semelhante às áreas submetidas a pastejo, que também tiveram um comportamento semelhante entre si. O aumento do pH em profundidade, deve-se à ação do calcário, mas também à do resíduo vegetal, de natureza alcalina, como destacado por Miyazawa et al., (1993), Franchini et al., (1999), Franchini et al., (2000), Miyazawa et al., (2000) e Franchini et al., (2001). A ação em profundidade do calcário, aumentando o pH e os teores de Ca, é acelerada quando misturado com esterco de bovinos (Wright et al., 1985).

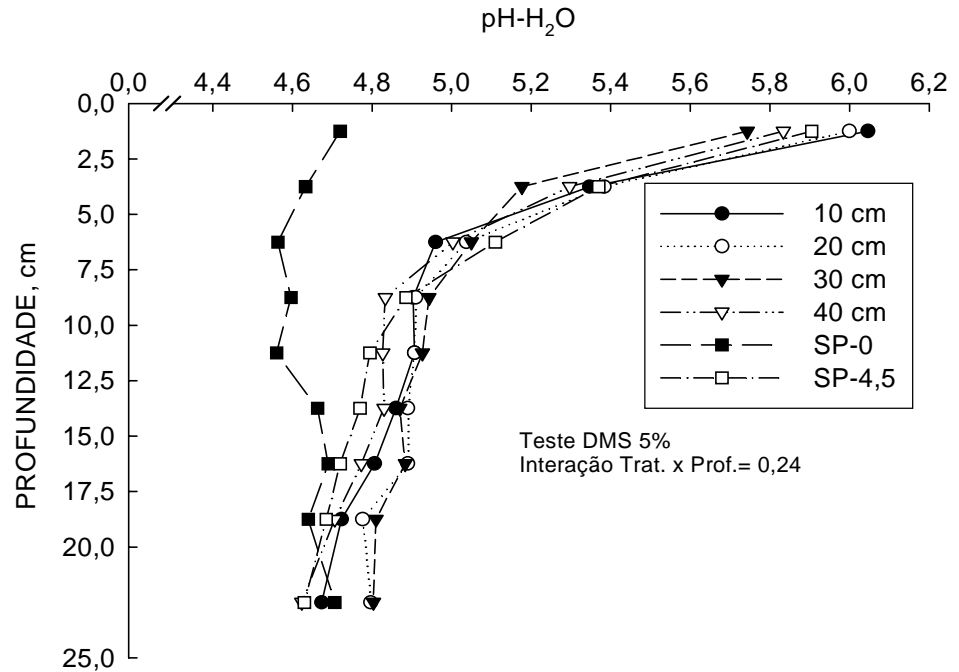


FIGURA 11. pH-H₂O do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

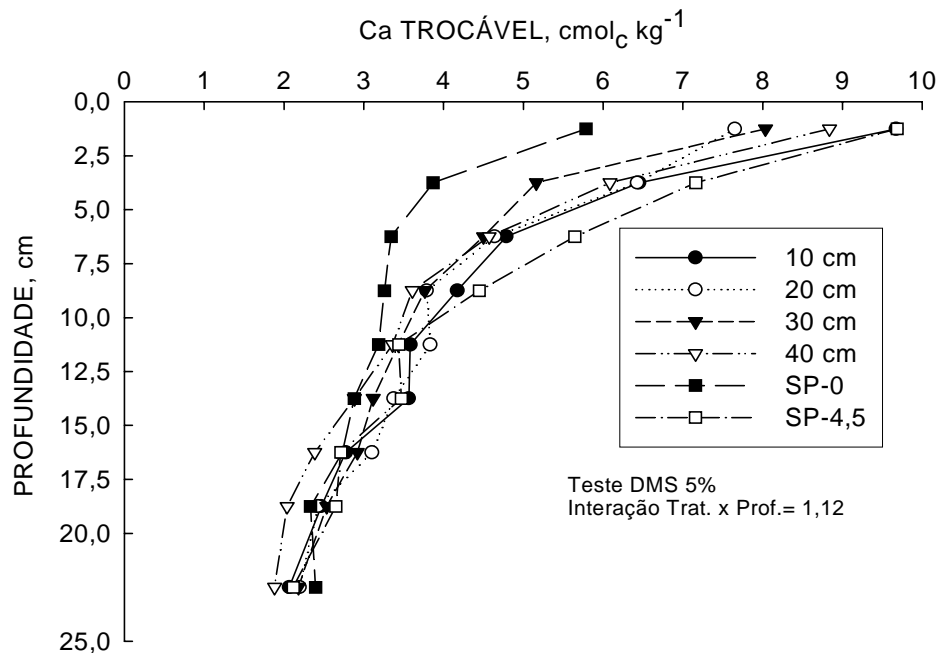


FIGURA 12. Teor de Ca trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

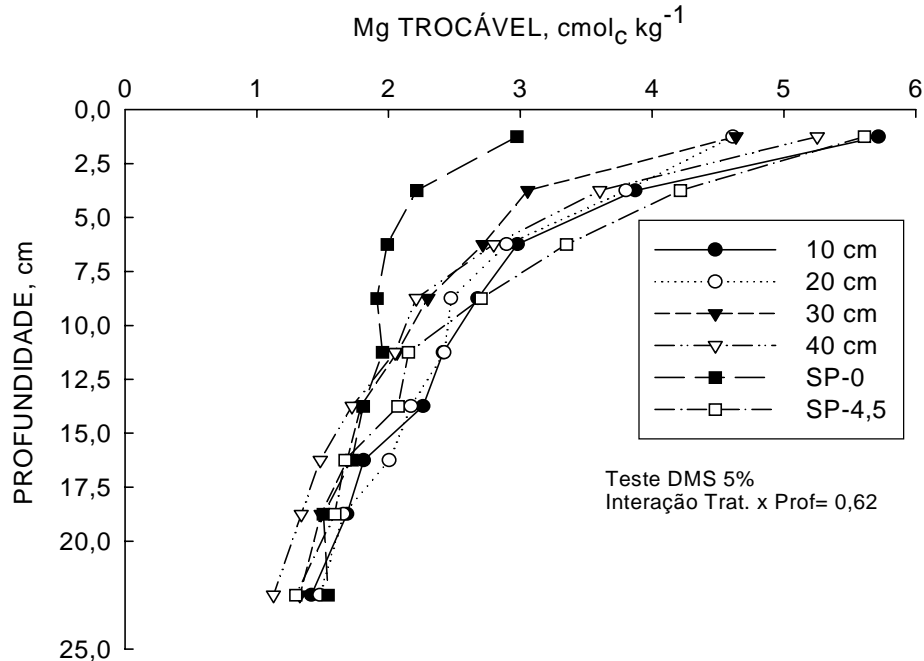


FIGURA 13. Teor de Mg trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

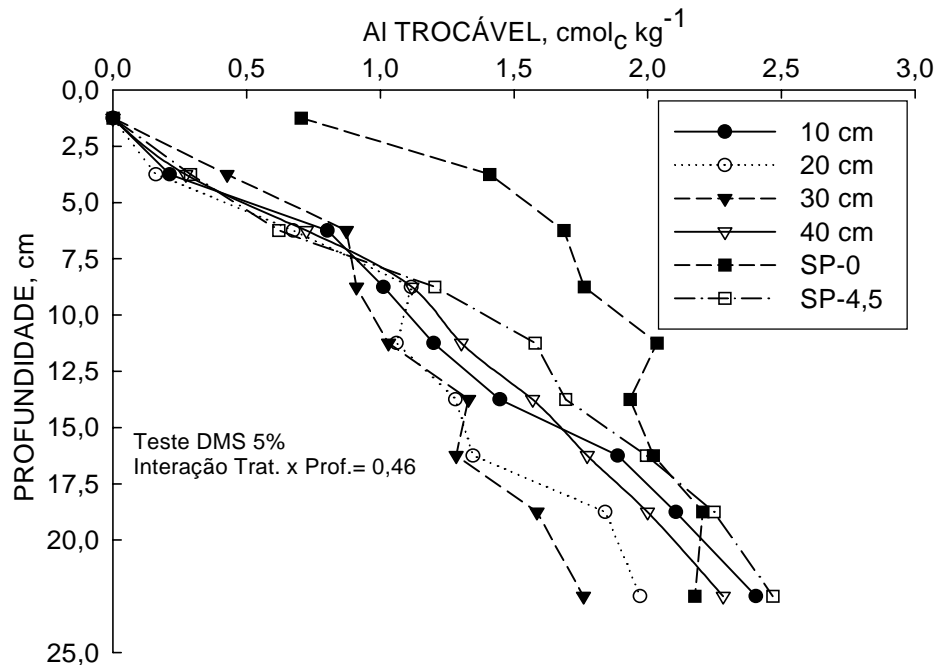


FIGURA 14. Teor de Al trocável 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

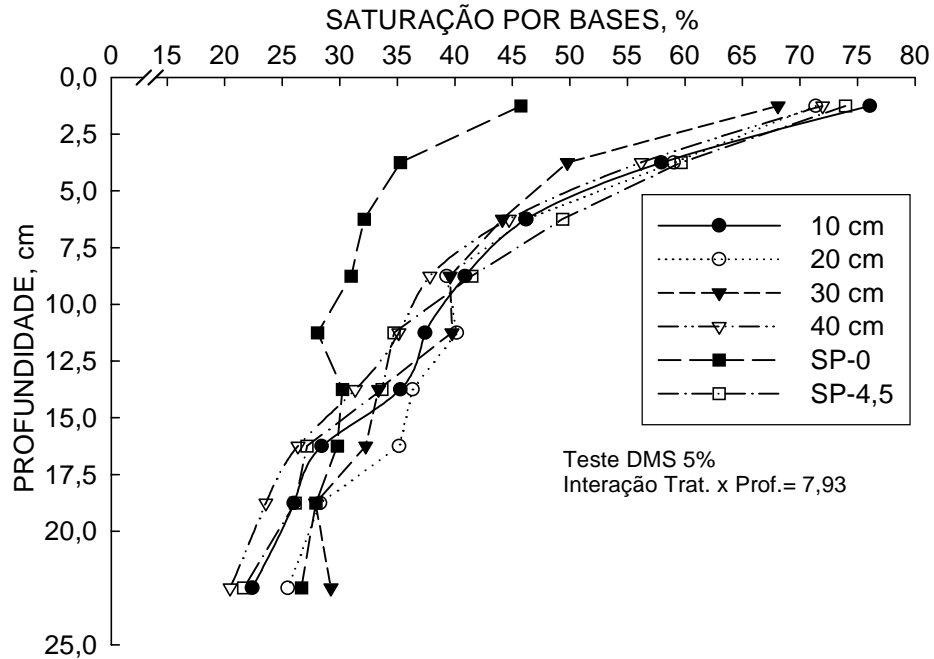


FIGURA 15. Saturação por bases do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

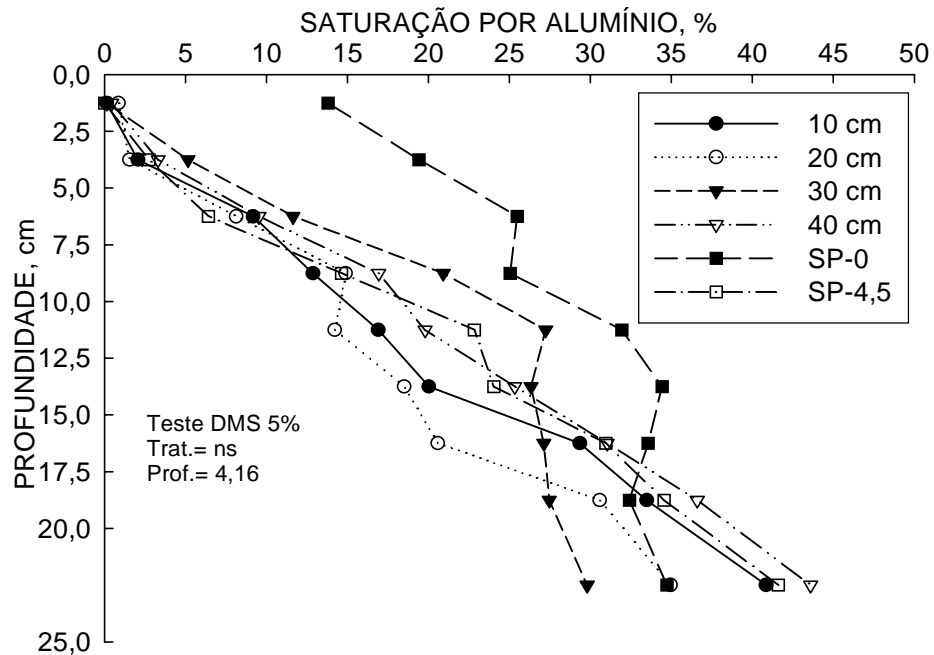


FIGURA 16. Saturação por alumínio do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

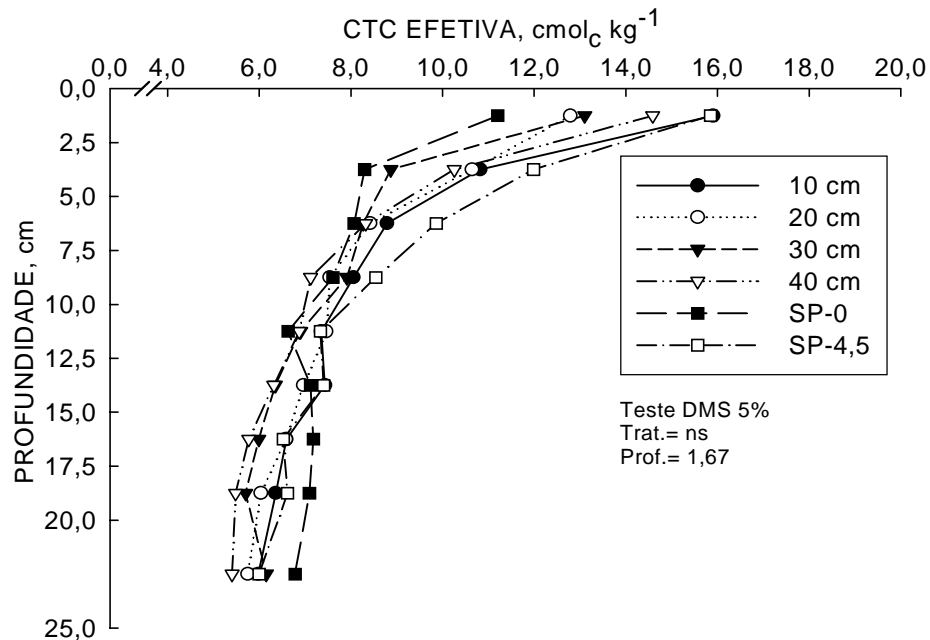


FIGURA 17. CTC efetiva do solo 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

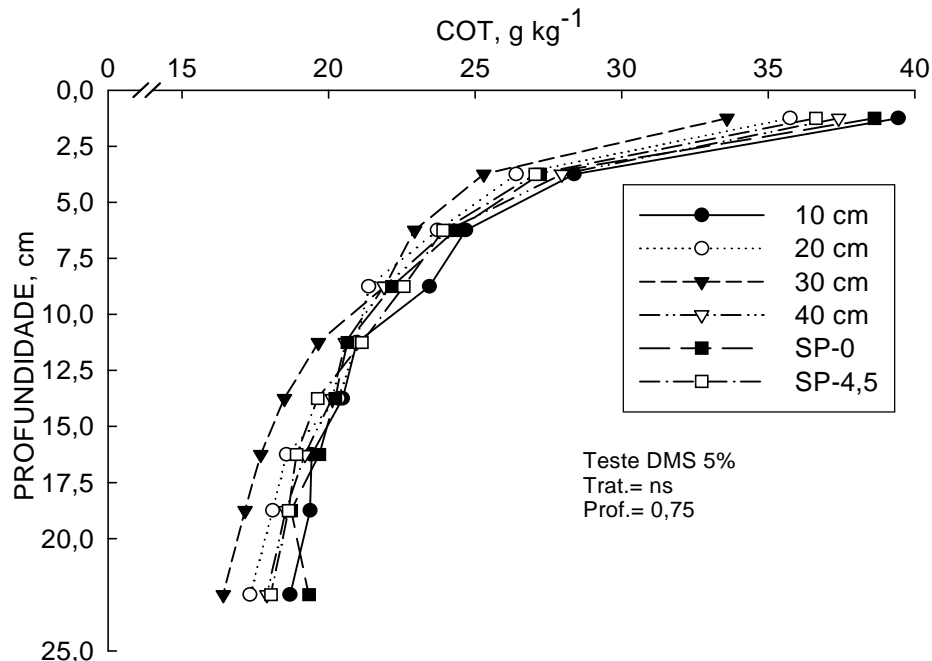


FIGURA 18. Teor de carbono orgânico total 17 meses (Maio/2003) após a aplicação de calcário em área sem pastejo (SP) e com pastejo animal no inverno sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

Na área sem pastejo e com calcário (SP-4,5), foram verificados maiores teores de Ca trocável até a profundidade de 10 cm, sendo esses valores superiores aos da área sem pastejo e sem calcário (SP-0), até a profundidade de 7,5 cm, no pastejo a 30 cm, até 5 cm, e no pastejo a 20 cm, na camada de 0-2,5 cm (Figura 12). A partir da profundidade de 10 cm não foram observadas diferenças entre os tratamentos. Comportamento similar foi observado para os teores de Mg no solo, sendo que a significância das diferenças da área sem pastejo e com calcário (SP-4,5) em relação à área sem pastejo e sem calcário (SP-0), se estendeu até a profundidade de 12,5 cm (Figura 13). Os resultados observados com relação a Ca e Mg trocáveis, promoveram maiores valores de saturação por bases, atingindo valores próximos a 75%, nos tratamentos sem pastejo e com calcário e no 10 cm (Figura 15). Nos tratamentos que receberam calcário, independentemente do pastejo, os valores de saturação por bases são menores na área sem pastejo e sem calcário (SP-0) até 12,5 cm de profundidade.

Os maiores teores de Ca e Mg trocáveis na camada superficial do solo no tratamento 10 cm de altura de manejo da pastagem, em relação às demais alturas, ainda que não diferindo de todos os demais tratamentos, podem ser devidos, em parte, à maior deposição de fezes nesse tratamento, já que são a principal via de excreção de Ca e Mg pelos bovinos, sendo que os seus conteúdos variam de 1,2-2,5% e 0,3-0,85%, respectivamente (Weeda, 1977). Em sistemas de produção de grãos que envolviam pastejo, Santos et al. (2003) verificaram um aumento progressivo dos valores de pH e dos teores de Ca+Mg trocáveis da camada de 0-5 para a de 15-20 cm. A aplicação da dose total, já a partir de 3 anos de cultivo, ou de 2/3 do calcário para elevar a saturação por bases a 70% em áreas conduzidas sob SPD por 3, 6 e 9 anos, aumentou os teores de Ca e Mg trocáveis na camada de 0-5 cm em todos os tempos de cultivo (Moreira et al., 2001). A presença de resíduos vegetais na superfície do solo em áreas sob SPD também promove um aumento dos teores de Ca e Mg trocáveis nas camadas mais profundas do solo, diminuindo o teor de Al trocável (Sidiras & Pavan, 1985; Oliveira & Pavan, 1996; Caires et al., 1998; 1999).

Na camada de 0-2,5 cm, os valores de pH, Ca e Mg trocáveis da área sem pastejo com calcário (SP-4,5) e do tratamento 10 cm de altura (Figuras 11 a

13) são bastante próximos entre si e maiores ($P < 0,05$) que os tratamentos sob pastejo de 30 cm e de 30 e 20 cm para pH e Ca e Mg trocáveis, respectivamente, sendo todos tratamentos superiores à testemunha, sem calcário (SP-0), o que acaba se refletindo em maiores valores de saturação por bases (Figura 15) e de CTC efetiva (Figura 17). Essa análise sugere que uma elevada pressão de pastejo (10 cm de altura) determina o acúmulo do calcário na camada mais superficial, devido a sua compactação pelo pisoteio animal. Porém, ao se observar os valores desses atributos e do Al trocável em profundidade (Figuras 11 a 15 e 17), percebe-se comportamento similar de todos os tratamentos que receberam calcário. Isso já havia sido observado nesse experimento por Cassol (2003), 11 meses após a aplicação do calcário.

A aplicação superficial de 6 t ha^{-1} de calcário aumentou, após 42 meses, o pH e a CTC efetiva até a profundidade de 12,5 cm (Petreire & Anghinoni, 2001). Os efeitos da calagem sobre a CTC efetiva e a saturação por bases na camada mais superficial do solo, se deve ao consumo de ânions resultantes da dissolução do calcário, em reações com cátions ácidos (Al^{3+} , Mn^{2+} e Fe^{2+}), que poderiam carrear Ca e Mg em profundidade (Miyazawa et al., 1996). Assim, somente após a neutralização desses cátions ácidos, que se dá em pH acima de 5,6 (Pavan & Roth, 1992), é que ocorre o efeito em profundidade. Como se pode observar na Figura 11, os valores de pH só atingiram valores acima de 5,6 na camada de 0-2,5 cm de profundidade, como também observado por Cassol (2003), em avaliações anteriores do mesmo experimento.

O calcário aplicado na superfície foi eficaz na correção dos teores de Al trocável e a saturação por Al até a profundidade de 10 cm ($P < 0,05$), na comparação da área sem pastejo e sem calcário (SP-0) com os demais tratamentos (Figuras 14 e 16). A partir da profundidade de 10 cm, verifica-se que os tratamentos de altura da pastagem a 20 e 30 cm, tendem a apresentar menores valores de Al trocável que os demais tratamentos, diferindo ($P < 0,05$) do SP-0 em algumas profundidades. Comportamento similar já foi observado e questionado antes por Cassol (2003): estariam os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, oriundos da degradação dos resíduos orgânicos de origem animal, principalmente das fezes, contribuindo na diminuição do alumínio trocável em

profundidade? Tal hipótese pode ser formulada, porque se espera que, de forma similar aos resíduos de origem vegetal (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Franchini et al., 2000; Miyazawa et al., 2000), os resíduos de origem animal, sobretudo as fezes, liberem compostos orgânicos hidrossolúveis que possam funcionar como ligantes orgânicos, conforme observado por Wright et al. (1985), diminuindo a fitotoxicidade do alumínio às plantas. Por outro lado, surge a dúvida sobre o por quê esses efeitos sobre o Al trocável em profundidade não se pronunciaram em maior magnitude na área em que a pastagem foi mantida a 10 cm? É nesse tratamento que se tem a maior quantidade de animais por área, e portanto, é de se esperar que haja uma produção maior de excreções animais e o aumento da concentração de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e conseqüente diminuição dos teores de alumínio trocável e da solução do solo.

Como conseqüência da diminuição dos teores de Al trocável, os valores de saturação por alumínio na profundidade de 0-2,5 cm ficaram muito próximos de zero, permanecendo abaixo de 10%, valor considerado crítico para o desenvolvimento de plantas, em todos os tratamentos que receberam calcário, exceto para a altura de 30 cm, até a profundidade de 7,5 cm (Figura 16). Cassol (2003) não havia observado efeito das diferentes alturas de manejo da pastagem sobre os teores de Al trocável e saturação por alumínio até 11 meses após a aplicação de calcário.

Na comparação com a literatura, cita-se o trabalho de Petreire & Anghinoni (2001), que demonstrou efeito da aplicação superficial de 6 t ha⁻¹ de calcário sobre o Al trocável até 7,5 cm, em área de campo nativo, e somente efeitos até 2,5 cm, em área sob SPD. A detecção do efeito do calcário em camadas mais profundas do que aquelas nas quais foram encontrados minerais constituintes do calcário, levou os autores a atribuir esse efeito à presença de compostos orgânicos.

Essas questões ainda permanecem sem esclarecimento, pois, praticamente, não há trabalhos na literatura que contemplem o estudo da dinâmica da acidez do solo em um sistema de integração lavoura-pecuária. Em concordância com a observação de Cassol (2003), julga-se necessária a realização de trabalhos que visem esclarecer melhor o papel dos resíduos

orgânicos de origem animal, com destaque para as fezes, na dinâmica do alumínio no solo e da própria dinâmica do calcário num sistema de integração lavoura-pecuária. Em um trabalho realizado em casa de vegetação, a aplicação de esterco de bovinos e cama de aviário só teve efeito expressivo na diminuição do teores de Al trocável nas doses mais elevadas, 12 e 36 Mg ha⁻¹, respectivamente (Ernani & Gianello, 1983).

O manejo da pastagem em diferentes alturas e a aplicação superficial de calcário não tiveram efeito ($P>0,05$) sobre os teores de COT do solo, cujos valores na camada de 0-2,5 variaram de 34 a 39 g kg⁻¹ de solo, caindo para valores abaixo de 20 g kg⁻¹ a partir de 10 cm de profundidade (Figura 18). A partir dos 15 cm de profundidade, os valores se mantiveram praticamente estáveis. Essa distribuição do COT no perfil do solo é característica de áreas sob SPD (Sidiras & Pavan, 1985; Bayer e Mielniczuk, 1997) e ocorre devido à deposição e manutenção de materiais orgânicos de origem vegetal e animal na superfície do solo, promovendo, dessa forma, um acúmulo de carbono nas camadas mais superficiais, pela redução da degradação da matéria orgânica.

A utilização de um sistema de integração lavoura-pecuária durante cinco anos de cultivo de pastagens anuais hibernais, com a exploração de culturas produtoras de grãos no verão, em Guarapuava-PR, não implicou em alterações nos teores de matéria orgânica do solo (Assmann et al, 2002). No entanto, os autores relatam que o manejo incorreto de áreas sob integração lavoura-pecuária, pode causar a sua degradação, tendo como um dos sinais iniciais a diminuição dos seus teores no solo, fato esse observado em algumas propriedades agrícolas que adotaram o sistema de integração no município de Pato Branco-PR. Cassol (2003) salienta que o tempo é um fator importante quando se almeja elevar os teores de carbono orgânico do solo. Desta forma, espera-se que, com o passar do tempo, as diferentes quantidades de fitomassa aportadas ao solo nas diferentes alturas de manejo da pastagem, possam provocar uma diferenciação nos teores de carbono orgânico entre os tratamentos.

Os resultados obtidos aos 17 meses após a aplicação superficial de calcário, não confirmam a hipótese de que o seu efeito ficaria restrito à camada

mais superficial do solo nos tratamentos de pastejo mais intenso (menores alturas de pastagem), devido aos efeitos da compactação causada pelo pisoteio animal.

4.2.2. Em diferentes épocas a partir da aplicação de calcário

Ao realizar-se uma análise temporal dos atributos químicos do solo relacionados com a acidez, constata-se, desde a primeira amostragem (maio de 2002) após a aplicação de calcário, que os mesmos vem sendo alterados em todos os tratamentos de pastejo, principalmente na camada superficial até 7,5 cm, (Figuras 19 a 24). Em alguns tratamentos e para alguns atributos, essas diferenças ($P < 0,05$) se estendem a profundidades maiores que 7,5 cm. De uma forma geral, não há grande oscilação dos valores para o mesmo atributo entre os tratamentos.

O aumento do pH do solo foi evoluindo no tempo, atingindo a camada de 20-25 cm após 17 meses da aplicação de calcário (Figura 19). Segundo Caires et al. (1998), a calagem superficial em área sob SPD, elevou o pH do solo até 10 cm de profundidade, 12 meses após a aplicação de calcário, sendo que após 28 meses aumentaram os valores de pH na camada superficial e os efeitos em profundidade. Nessa mesma área, decorridos 68 meses da aplicação do calcário, os seus efeitos sobre os atributos da acidez do solo ocorreram até a camada de 40-60 cm (Caires et al., 2001). Em outro trabalho, Caires et al. (2003) verificaram efeito da calagem superficial na camada de 0-5,0 cm, 11 meses após a aplicação do calcário, atingindo as camadas 5,0-10,0 cm e 10,0-20,0 cm após 23 meses e chegando a camada de 20,0-40,0 cm aos 35 meses.

Quanto ao comportamento do Ca trocável em profundidade no tempo (Figura 20) no tratamento 10 cm (Figura 20 a), verifica-se valores maiores ($P < 0,05$), até a camada de 5,0-7,5 cm de profundidade, na amostragem realizada em maio de 2002 em relação à coleta anterior a aplicação do calcário (novembro de 2001). A partir dos 7,5 cm de profundidade, os valores obtidos 11 meses após a calagem (maio de 2002), são maiores que os valores encontrados na última amostragem.

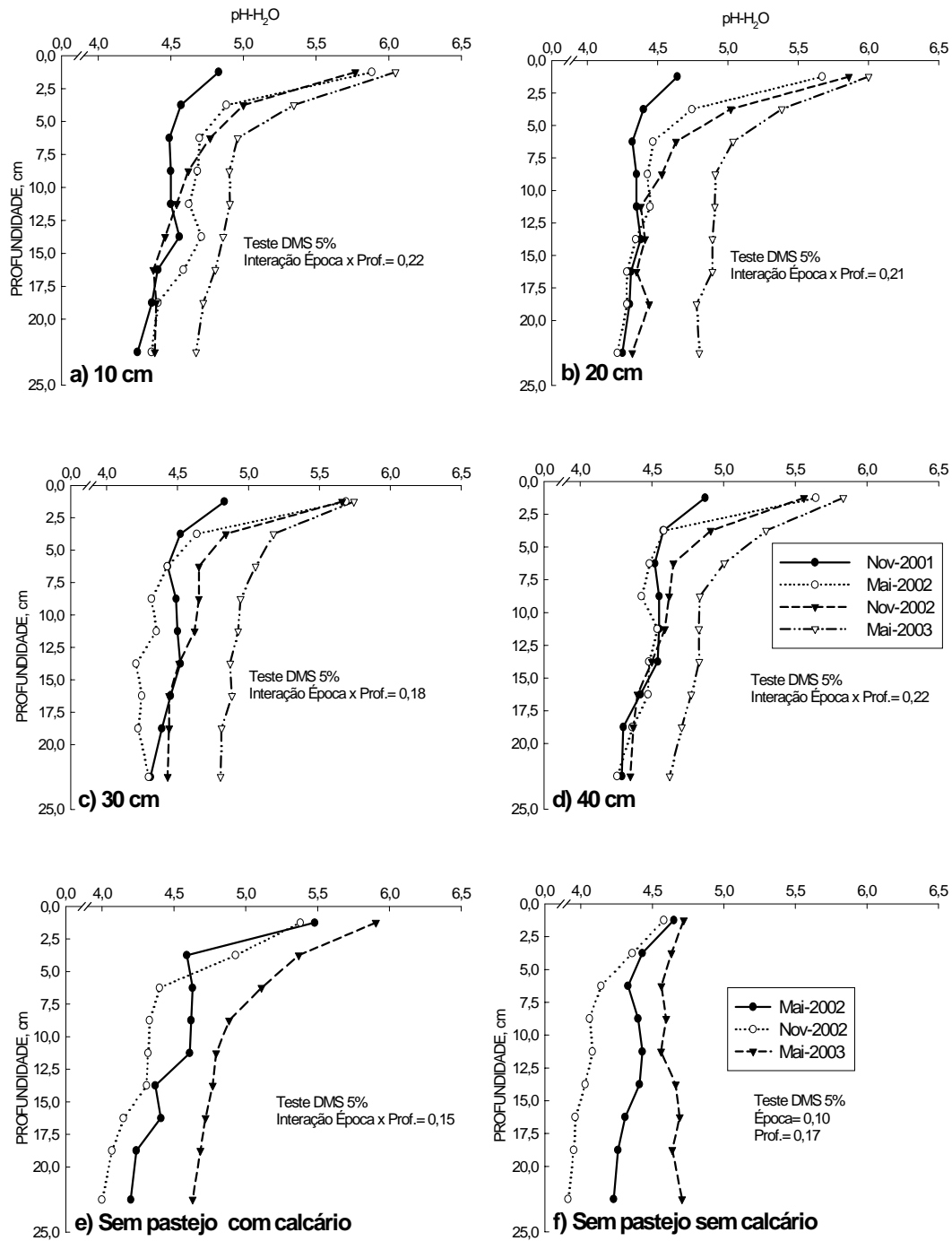


FIGURA 19. pH em água do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

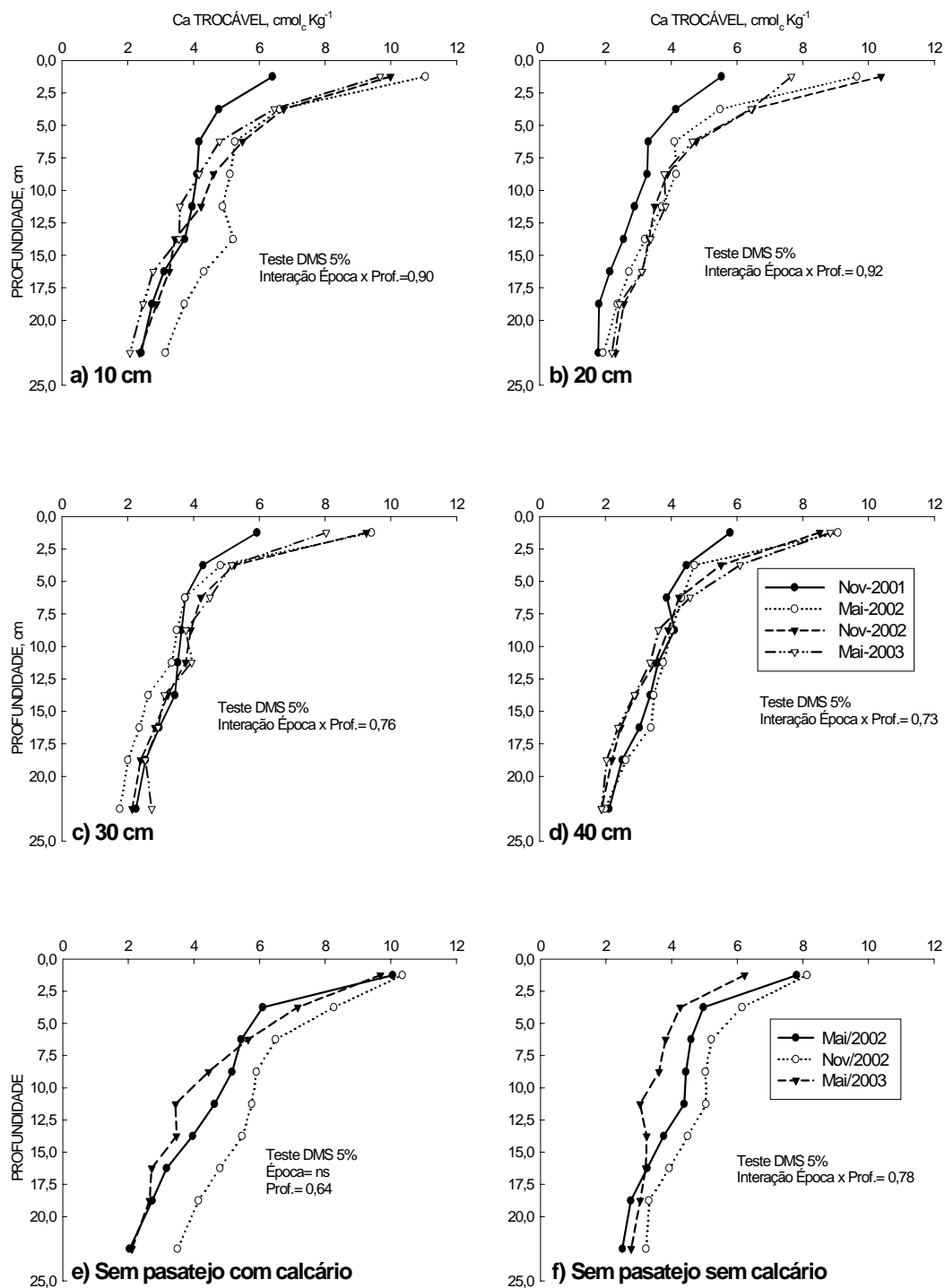


FIGURA 20. Teores de Ca trocável do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

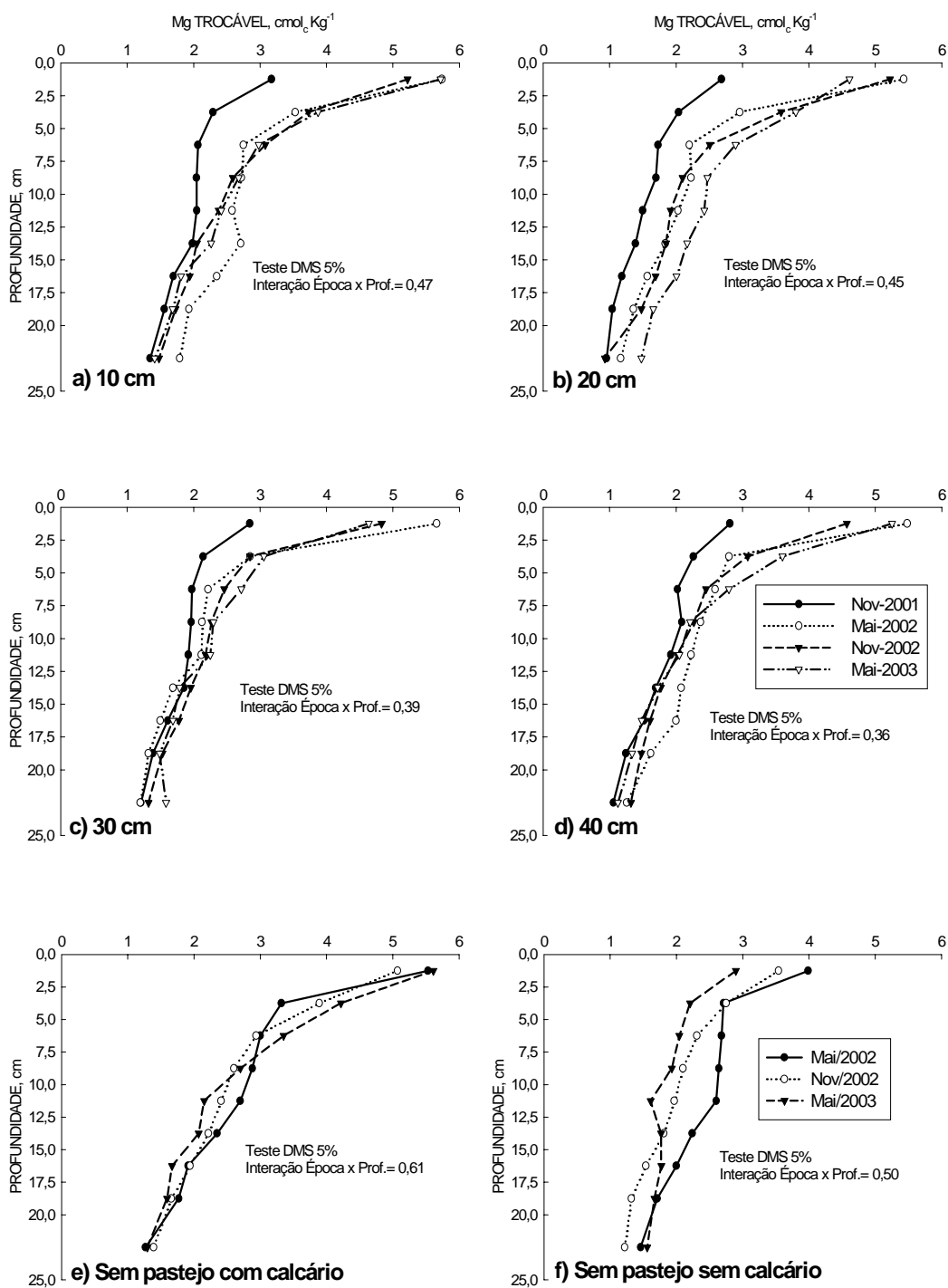


FIGURA 21. Teores de Mg trocável do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

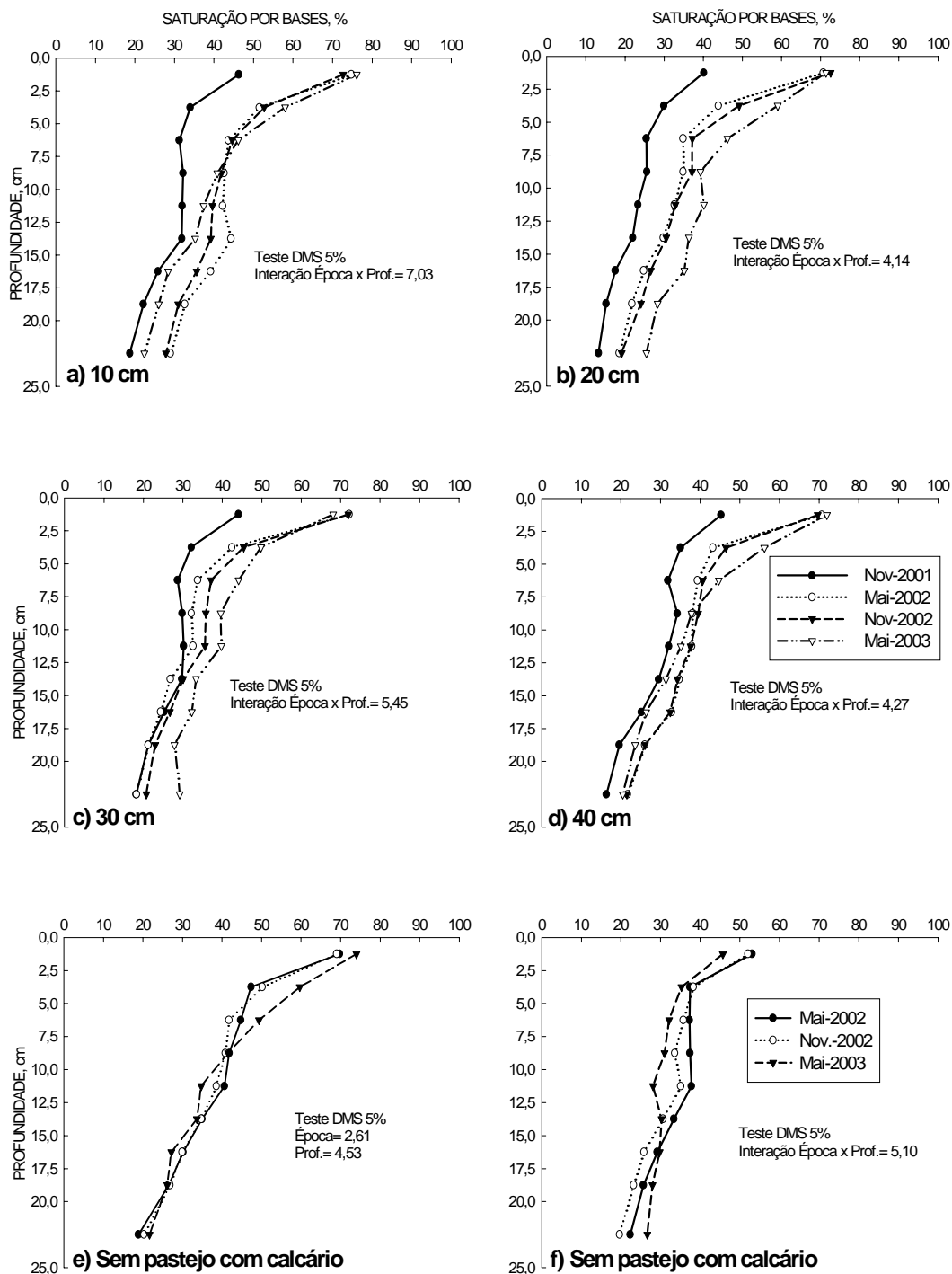


FIGURA 22. Saturação por bases do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

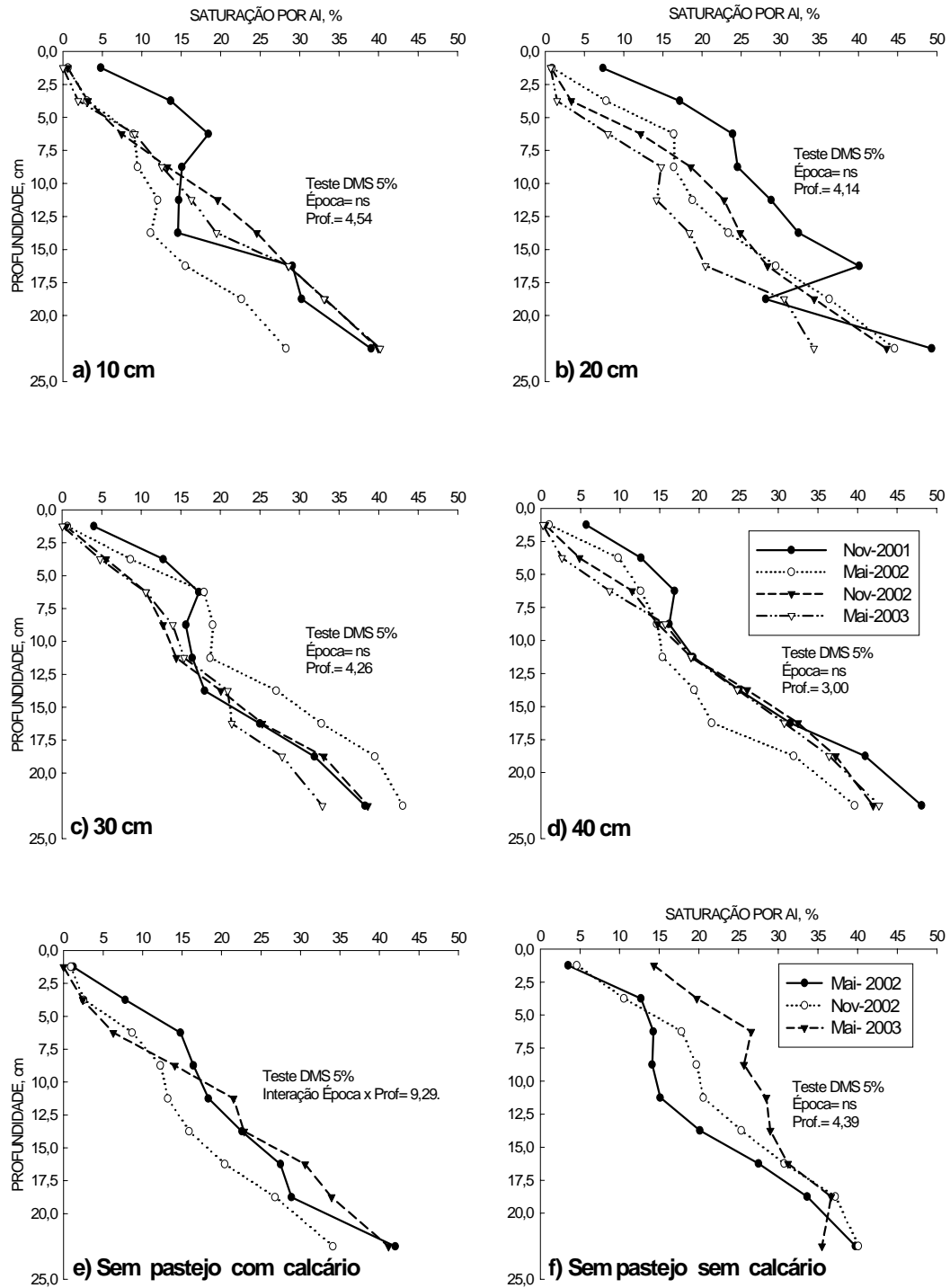


FIGURA 23. Saturação por alumínio do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

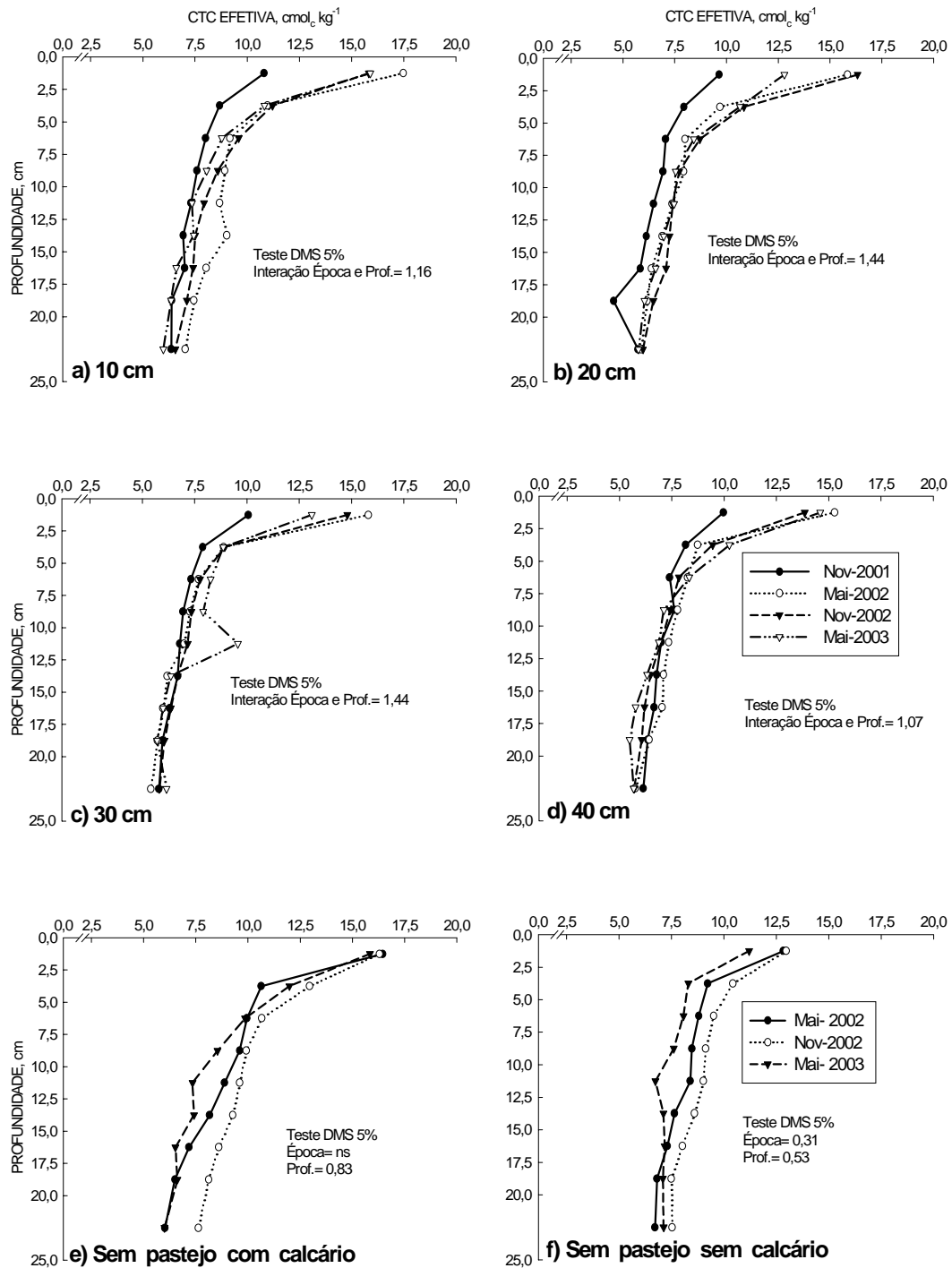


FIGURA 24. Valores da CTC efetiva do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

Comportamento semelhante foi observado para o Mg trocável nesse tratamento (10 cm), com o diferencial de que, neste caso, as diferenças entre as coletas realizadas após a calagem e a anterior a essa (novembro de 2001) se estenderam até a camada de 10-12,5 cm (Figura 21a). Cassol (2003) atribui esse aumento do Ca e Mg trocáveis em profundidade no tratamento 10 cm à presença de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que seriam produzidos durante a degradação dos excrementos dos animais, principalmente das fezes. Nos demais tratamentos com calcário, com exceção do 20 cm de altura de pastejo (Figura 20b), a partir da profundidade de 7,5 cm não há diferenças entre as épocas de amostragem (Figura 20). O mesmo ocorreu com o Mg trocável (Figura 21). Os teores de Ca trocável anteriores à calagem, médios a altos, dificultaram a detecção de possível elevação dos seus teores após a aplicação de calcário, em função da dose aplicada, fazendo com que esse atributo não tivesse o mesmo comportamento daquele observado para o pH do solo (Cassol, 2003). A tendência de diminuição dos teores de Ca e Mg trocáveis, observada na última amostragem, no tratamento sem pastejo e sem calcário (Figuras 20f e 21f), pode ser devida à exportação desses nutrientes pela pastagem e pelos grãos de soja.

Os maiores teores de Ca e Mg trocáveis no tratamento 10 cm de altura de pastejo, na amostragem realizada em maio de 2002, se refletiram em maiores valores de saturação por bases (Figura 22a) e CTC efetiva (Figura 24a) e menores de saturação por alumínio (Figura 23a). Isso ocorre, porque são os cátions encontrados em maiores teores no solo, principalmente após a calagem, e que ocupam o maior número de cargas da CTC do solo, aumentando, dessa forma, os valores de CTC efetiva e de saturação por bases. Conseqüentemente, restam menos sítios para adsorção do Al trocável, diminuindo o percentual da CTC do solo ocupado por esse cátion e com isso, diminui a saturação por Al. Nos demais tratamentos sob pastejo, verificou-se interação ($P < 0,05$) entre as épocas e as profundidades de amostragem para a saturação por bases (Figura 22) e para a CTC efetiva (Figura 24), demonstrando haver efeito do calcário sobre esses atributos, quando se compara os seus valores dentro de uma mesma profundidade nas diferentes épocas de amostragem. Para a saturação por alumínio, só houve efeito isolado do fator profundidade (Figura 23). Aos 17 meses

após a aplicação do calcário, verificou-se efeito sobre a CTC efetiva principalmente nas camadas até 7,5 cm de profundidade (Figura 24), enquanto para a saturação por bases foi observado efeito até 25 cm de profundidade (Figura 22).

Nas áreas sem pastejo, observa-se, para a saturação por bases, que não há diferenças dentro da mesma profundidade para as diferentes épocas de amostragem (interação) ($P < 0,05$) na área calcareada (Figura 22e), fato que se verifica na área que não recebeu calcário (Figura 22f), sendo que, nessa área, os valores observados na última coleta de solo (maio de 2003) tendem a ser menores que nas demais até a camada de 12,5-15,0 cm de profundidade. Resultados semelhantes foram obtidos para a CTC efetiva, sendo que para esse atributo não foi verificada interação entre os fatores época e profundidade de amostragem no tratamento sem pastejo e sem calcário, ocorrendo apenas efeito isolado de ambos fatores (Figuras 24e e f). Esses resultados estão de acordo com os valores observados de Ca e Mg trocáveis, nesse último tratamento (Figuras 20f e 21f, respectivamente), os quais diminuíram após 17 meses da implantação do experimento. A ocorrência de interação para os atributos saturação por bases e saturação por alumínio, na área sem pastejo e sem calcário (Figuras 22f e 23f), pode ser devida, ao menos em parte, ao fato de que os teores de Al trocável aumentam e os de Ca e Mg trocáveis diminuem com o tempo de cultivo das áreas. Os teores de Al trocável aumentam em função do processo natural de acidificação que o solo sofre (Kaminski & Rheinheimer, 2000), independentemente do sistema de preparo (Rheinheimer et al., 2000a); com isso os teores de Al trocável aumentam. Já, os valores de Ca e Mg trocáveis diminuem devido à sua exportação, seja pela forragem no inverno ou pelos grãos de soja no verão.

Quanto ao COT, foi observada interação ($P < 0,05$) entre as épocas e as profundidades de amostragem, nos tratamentos com menor altura (10 e 20 cm) de manejo da pastagem (Figura 25a e b). Esse fato pode estar relacionado com a maior deposição de excrementos de origem animal nessas áreas, já que nelas ocorre a maior lotação. Porém, verifica-se, principalmente no tratamento 10 cm, que a amostragem feita em novembro de 2002 apresentou menores teores de COT em

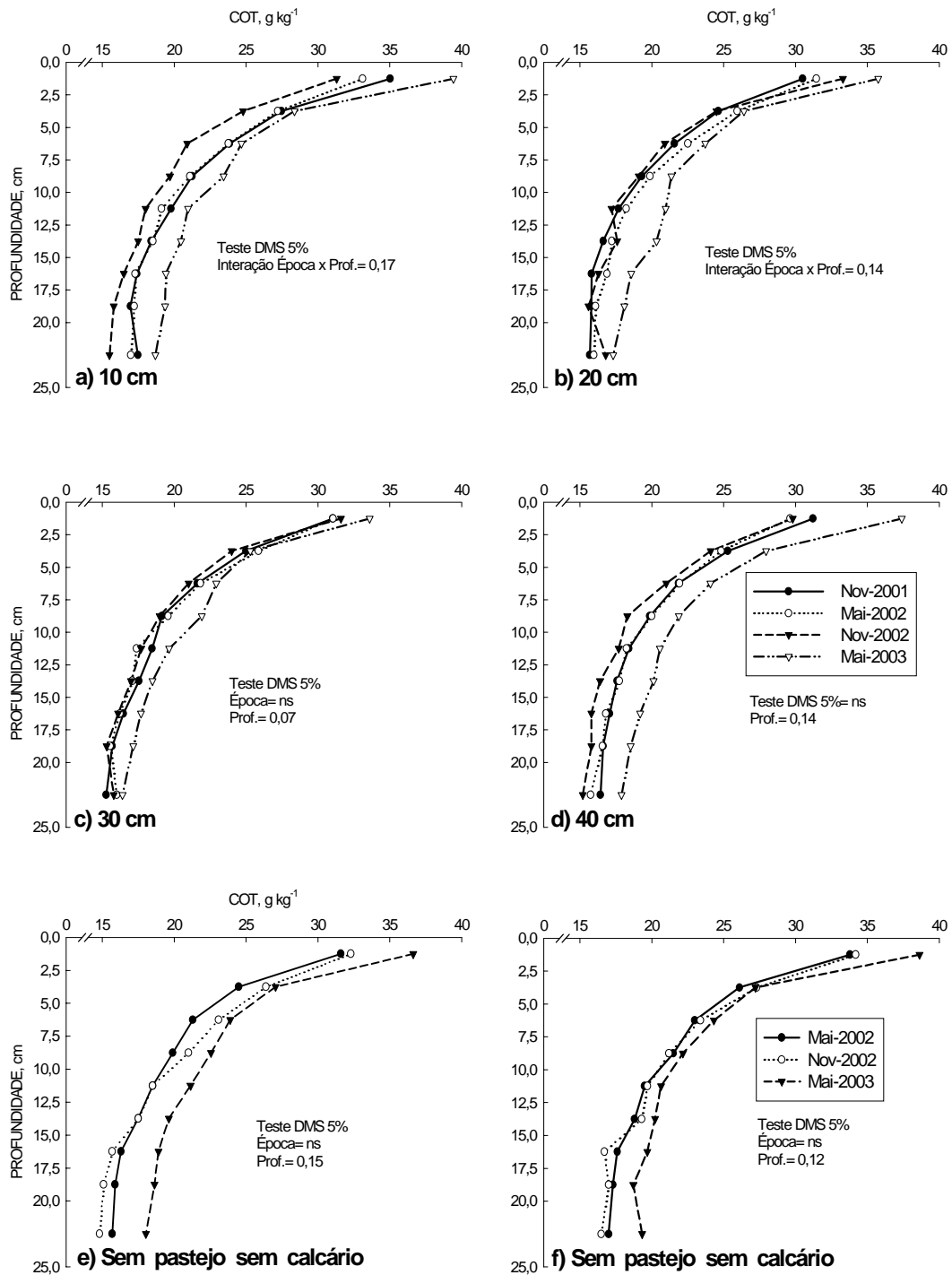


FIGURA 25. Carbono orgânico total do solo em dois ciclos de pastejo (Nov/2001 e Nov/2002) e dois ciclos de soja (Mai/2002 e Mai/2003), em áreas com pastagem manejada em diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto.

todas as profundidades, o que contribui para que houvesse significância na interação. O que não está claro, é a causa dessa diminuição, pois é de se esperar que o acúmulo de fitomassa, da pastagem e da resteva da soja, contribua para o aumento dos teores de COT no solo no tempo. A desuniformidade na distribuição das fezes nos piquetes é tida por Cassol (2003), como uma das razões para que não fosse observada interação as alturas de manejo da pastagem e as profundidades de amostragem.

4.3. População de plantas e rendimento de grãos da cultura da soja

As alterações nos atributos físicos (item 4.1) e químicos do solo (item 4.2) decorrentes do pisoteio animal não atingiram níveis prejudiciais para o estabelecimento da cultura da soja, implantada após dois ciclos de pastejo. Isto porque a população de plantas aos 30 dias após a emergência (DAE) foi similar nas diferentes alturas de manejo anterior da pastagem e na área sem pastejo (Figura 26). Esses resultados negam, ao menos em parte, a primeira hipótese de

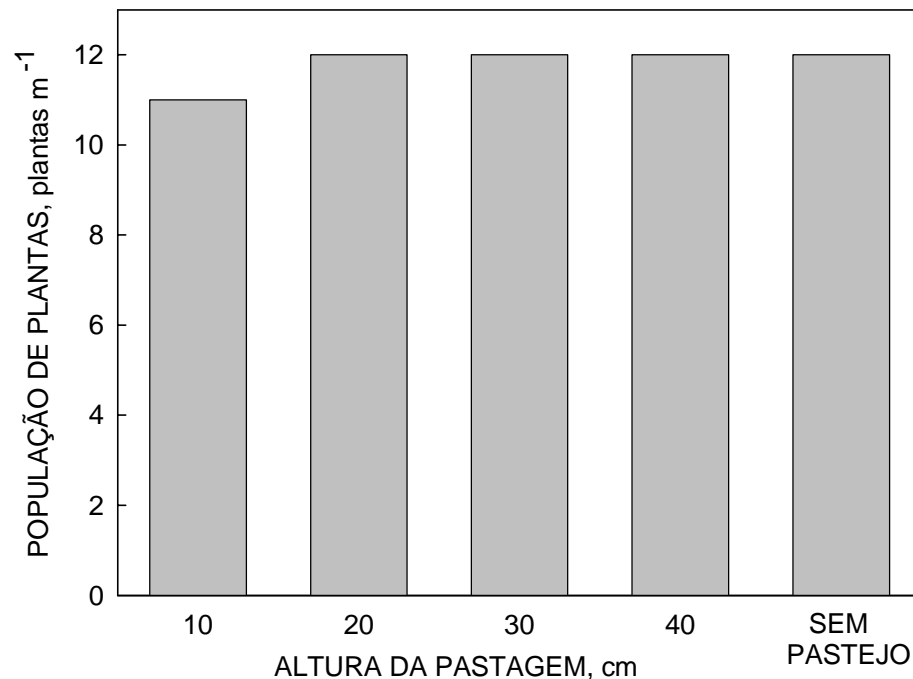


FIGURA 26. População de plantas de soja 30 DAE (safra 2002/03) em área anteriormente submetida a pastejo de aveia + azevém sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Diferenças não significativas pelo teste da DMS 5%.

que a soja encontraria dificuldades para se estabelecer nos tratamentos com maior pressão de pastejo.

No cultivo anterior (2001/2002), a população de plantas de soja foi menor ($P < 0,05$) nos tratamentos de menor altura de manejo (10 e 20 cm) em relação aos demais tratamentos (Cassol, 2003). Naquele ano, houveram, pelo menos dois fatores, que foram diferentes em relação ao último ano. O primeiro, é que o sulcador da semeadora, na safra 2001/2002, somente pode ser introduzido até 7 cm de profundidade no tratamento 10 cm de altura da pastagem, enquanto que nos demais, a profundidade foi de 13 cm. Isso pode ter colaborado para a ocorrência de menor população de plantas nesse tratamento, pois as sementes ficaram mais expostas às oscilações de temperatura e umidade, que ocorrem nas camadas mais superficiais do solo, o que pode influenciar na germinação (Trein et al., 1991) e mesmo após a germinação, essas condições adversas podem ter influenciado no desenvolvimento da plântula. O segundo, foi a ocorrência de um período de déficit hídrico na área experimental, nos meses de dezembro de 2001 e janeiro e fevereiro de 2002. Talvez essa tenha sido a causa determinante nos resultados obtidos na soja na safra 2001/02. Acredita-se que a estiagem tenha atuado no sentido de potencializar o efeito das alterações nos atributos físicos do solo, causadas pelo pisoteio dos animais, principalmente nos tratamentos de menores alturas de manejo da pastagem, resultando em menor população de plantas nessas áreas.

Na safra 2002/03, não houve a ocorrência de períodos de estiagem que pudessem prejudicar o desenvolvimento da soja (Apêndice 1). Com isso, as alterações nos atributos físicos do solo, devidas à presença dos animais, não tiveram influência sobre a população de plantas nas diferentes alturas de manejo da pastagem.

Assim, o rendimento de grãos também não foi influenciado pelo manejo da pastagem em diferentes alturas, mesmo variando de 3,59 a 4,05 Mg ha⁻¹, do tratamento 20 cm para a área sem pastejo (Figura 27). Na safra anterior, o rendimento de grãos diminuiu com o aumento da pressão de pastejo em função da menor população de plantas estabelecidas e pela ocorrência de um período de déficit hídrico durante o ciclo da soja (Cassol, 2003). O rendimento de grãos,

nestes dois anos de avaliação, tem sido reflexo da população de plantas estabelecida, pois se verifica que no ano em que houve diferença entre a população obteve-se rendimentos diferentes entre os tratamentos, o que não aconteceu em ano que a população não apresentou diferenças entre os tratamentos.

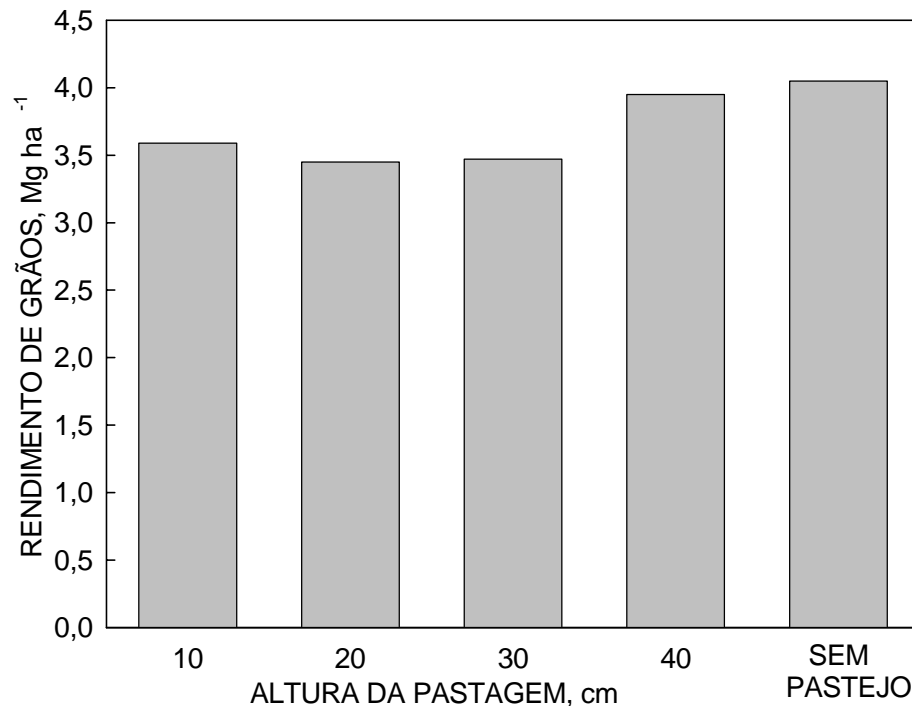


FIGURA 27. Rendimento de grãos de soja (safra 2002/03) em área anteriormente submetida a pastejo de aveia + azevém sob diferentes alturas de manejo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. Diferenças não significativas pelo teste da DMS 5%.

A cultura mais utilizada em sistemas de integração lavoura-pecuária, no Sul do Brasil, tem sido o milho. Nesta cultura, a utilização de semeadora com sistema sulcador do tipo duplo-aiveca, em SPD, resultou em maior rendimento de grãos, quando comparado com outros sistemas de preparo do solo, em área submetida a dois períodos de pastejo de 20 e 22 horas, com cargas animais de aproximadamente 15.000 e 16.200 kg PV ha⁻¹, respectivamente (Uhde et al., 1996). Em um Podzólico Vermelho Amarelo, não foi verificada redução do rendimento de grãos de milho, em área sob SPD, após 105 dias de pastejo em uma pastagem de aveia+azevém (Bassani, 1996). Nesta mesma área, a não

observação de influência do pastejo no inverno sobre o rendimento de milho, também foi atribuída, ao menos em parte, à não ocorrência de déficit hídrico na área (Silva et al., 2000). Assmann et al. (2003) verificaram maiores rendimentos de milho, chegando a atingir valores acima de 10 Mg ha⁻¹, em áreas submetidas a pastejo com aplicação de doses de até 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio no inverno, em relação a áreas que não foram pastejadas, o que é atribuído ao fato de que o pastejo anterior na área ter favorecido a ciclagem do nitrogênio, estimulando a sua absorção pelas plantas, permitindo, dessa forma, um maior aproveitamento, do nitrogênio aplicado, quando comparado às áreas que não foram pastejadas.

5. CONCLUSÕES

Após o segundo ciclo de pastejo, não houveram alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade do solo submetido a alturas de pastagem variando de 10 a 40 cm. No entanto, a densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas em relação às áreas não pastejadas.

A ação, em profundidade, do calcário aplicado na superfície, não foi influenciada pela intensidade de pastejo, e continua ocorrendo até 17 meses de sua aplicação, com efeitos no pH até 15 cm, no cálcio e magnésio trocáveis até 7,5 cm, no alumínio trocável e na saturação por bases até 12,5 cm e na CTC efetiva até 2,5 cm, em relação às áreas que não recebem calcário.

As alterações nos atributos químicos e físicos do solo verificados nas áreas pastejadas em diferentes alturas e não pastejadas, não influenciaram o estabelecimento e o rendimento de grãos de soja em período sem restrição hídrica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Ensaio de adensamento unidimensional - NBR 12007**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 13p.

ALBUQUERQUE, J.A. et al. Efeito da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.717-723, 2001.

ALMEIDA, R.A. et al. Reação de plantas de cobertura a níveis de densidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Resumos Expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM

ALVARENGA, R. C. et al. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solos compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 4, p. 695-702, 2001.

AMARAL, A.S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

AMBROSI, I. et al. Lucratividade e riscos de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p.1213-1219, 2001.

ASSMANN, T.S. et al. Manejo da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes) em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p.61-84.

ASSMANN, T.S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco,

pastejo e nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.4, 675-683, 2003.

BASSANI, H.J. **Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada**. Santa Maria:UFSM, 1996. 90f. Dissertação (Mestrado), Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1996.

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

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de ofertas de forragem de capim-elefante anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, 2000.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.779-786, 1998.

BIRCHAM, J.S. **Herbage growth and utilization under continuous stocking management**. 1981. Thesis (Ph.D), University of Edinburgh, Edinburgh, 1981.

BLEVINS, R.L. et al. Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.3, n.2, p.135-146, 1983.

BOENI, M. **Comportamento mecânico de solos escarificados em função do teor de água e pressão de inflação dos pneus**. 2000. 99f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BORGES, E. N. et al. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, n.202, p.553-568, 1988.

BOUMA, J. **Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable**. Madison: University of Wisconsin, 1973. 194p.

CAIRES, E.F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.275-286, 2003.

CAIRES, E.F. et al. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistemas de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.27-34, 1998.

CAIRES, E.F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.1029-1040, 2001.

CAIRES, E.F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações nas características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.315-327, 1999.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

CASSOL, L.C. **Características físicas e químicas do solo e rendimento de culturas após a reaplicação de calcário, com e sem incorporação, em sistemas de preparo**. 1995. 97f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

CASSOL, L.C. **Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

CAUDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratórios e de irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI : IPH-UFRGS, 1986. 216p.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.197-201, 1983.

CORREA, J.C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um latossolo amarelo da Amazônia Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.1, p.107-114, 1995.

CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.3, p.562-567, 1987.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v.8, n.2, p.139-151, 1995.

EDWARDS, W.M. et al. Characterizing macropores that affect infiltration into notilled soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.2, p.483-487, 1988.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e cama de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.161-165, 1983.

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2129-2137, 2000.

FRANCHINI, J.C. et al. Alterações na fertilidade do solo em sistemas de rotação de culturas em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.459-467, 2000.

FRANCHINI, J.C. et al. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.533-542, 1999.

FRANCHINI, J.C. et al. Potencial de extratos de resíduos vegetais na mobilização do calcário no solo por método biológico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.2, p. 357-360, 2001.

GAGGERO, M. R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. 1998. 125f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

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.2, p.283-290, 2003.

GATIBONI, L.C. **Oferta de forragem de pastagem natural afetada pela adubação fosfatada e introdução de espécies forrageiras de inverno**. Santa Maria, 1999. 65 f. Dissertação (Mestrado em Biodinâmica do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1999.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York: Academic, 1980. 413 p.

HOLT, J.A. et al. The effects of grazing pressure on soil animals and hydraulic properties of two soils in semi-arid tropical Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.34, n.1, p.69-79, 1996.

KAISER, D.R. et al. Compactação do solo e suas relações no desenvolvimento radicular e produtividade do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Resumos Expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S. A acidez do solo e a nutrição mineral de plantas. In: KAMINSKI, J. (Ed.). **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS/NRS, 2000. Cap.2, p.21-39.

KAMINSKI, J. et al. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo em campo nativo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p. 605-609, 2000.

LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p.1127-1132, 1980.

LARSON, W.E. et al. Compression of agricultural soils from eight soils orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.3, p.450-457, 1980.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanic strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n.2/3, p.287-295, 1991.

MACEDO, W. et al. Calcário na implantação em cobertura de leguminosas de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.2, p.125-134, 1979.

MELLO, J. S. Fundamentos para integração lavoura-pecuária no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.36, p.12-13, 1996.

MELLO, L.M.M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico**. Ilha Solteira:UNESP, 2001. 72f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

MELLO, N.A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p. 43-60.

MIYAZAWA, M. et al. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.3, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M. et al. Resíduos vegetais: influência na química de solos ácidos. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2000, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: Associação dos Engenheiros Agrônomos dos Campos Gerais, 2000. p.82-94.

MIYAZAWA, M. et al. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 4. 1996, Belo Horizonte. **Abstracts....** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo:EMBRAPA-CPAC, 1996. p.8.

MORAES, A.; LUSTOSA, S.B.C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá, 1997. **Anais...** Maringá: UEM, 1997. p.129-149.

MORAES, A. et al. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3., 1998, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, 1998. 1 CD-ROM.

MORAES, A. et al. Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, 2002. p.3-42.

MORAES, M. H. et al. Efeito da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas soja. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p. 393-403, 1995.

MOREIRA, S. G. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.71-81, 2001.

MÜLLER, M. M. L. et al. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.38, n.1/2, p.47-57, 1996.

ORTIGÃO, J.A.R. **Introdução a mecânica dos solos dos estados críticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. 378 p.

PAVAN, M.A.; ROTH, C.H. Effect of lime and gypsun on chemical composition of runoff and leachate from samples of a brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.44, p.391-394, 1992.

PETREIRE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.4, p.885-895, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem em solos sob plantio direto e em campos nativos do Rio Grande do Sul. In: NUERNBERG, N.J. **Plantio Direto: conceitos,**

fundamentos e práticas culturais. Lages: SBCS/Núcleo Regional Sul, 1997. p.79-109.

PÖTTKER, D.; BEN, J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, 1998.

RADFORD, B.J. et al. Compacted soils affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, n.12/13, p. 1869-1872, 2001.

REINERT, D.J. et al. Compress – software e proposta de modelo para descrever a compressibilidade do solo e seus parâmetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. 1 CD ROM.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000a.

RHEINHEIMER, D.S. et al. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n. 4, p.797-805, 2000b.

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v.69, p.32-34, 2002.

SANTOS, H.P. et al. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre a fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n. 3, p.545-552, 2003.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.3, p.249-254, 1985.

SILVA, A.P. et al. Evaluation soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.70, n.1, p.83-90, 2003.

SILVA, V. R. et al. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.191-199, 2000.

SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho Distrófico típico. I – estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.1, p.1-8, 2002.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.2, p.253-260, 2001.

SMITH, C.W. et al. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.43, n.3/4, p.335-354, 1997.

SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. van. Soil compactacion problems in world agriculture. In: SOANE, B. D.;OUWERKERK, C. van. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 1-21.

STONE, J.A.; LARSON, W.E. Rebound of five one-dimensionally compressed unsaturated granular soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.4, p.819-822, 1980.

STONE, R.J.; EKWUE, E.I. Soil compressibility as influenced by sewage sludge incorporation. **Journal of Agricultural Engeneering Research**, Silsoe, v.64, n.3, p.227-236, 1996.

TANNER, C. B.; MARMARIL, C. P. Pasture soil compaction by animal traffic. **Agronomy Journal**, Madison, v.51, n.6, p.329-331, 1959.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 1, p.111-119, 1991.

TEDESCO, M..J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TREIN, C.R. et al. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.1, p.105-111, 1991.

UHDE, L. T. et al. Comportamento da sucessão trevo/milho, em área com e sem pastejo intensivo, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, 493-501, 1996.

VIZZOTO, V.R. et al. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo em várzea. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.

WEEDA, W.C. Effect of cattle dung patches on soil tests and botanical and chemical composition of herbage. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.20, n.4, p.471-478, 1977.

WILLIAMS, C.H. Soil acidification under clover pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Victoria, v.20, n.6, p.561-567, 1980.

WRIGHT, R.J. et al. The effect of surface applied soil amendments on barley root growth in acid subsoil. **Communication in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.16, n.2, p.179-192, 1985.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1. Precipitações pluviométricas registradas nos anos de 2001, 2002 e 2003 na Fazenda do Espinilho. São Miguel das Missões – RS

Mês	Precipitação (mm)		
	2001	2002	2003
Janeiro	516	110	212
Fevereiro	102	52	351
Março	225	233	163
Abril	259	252	279
Maio	85	227	40
Junho	243	193	129
Julho	147	340	191
Agosto	98	310	85
Setembro	243	293	75
Outubro	140	701	363
Novembro	121	255	245
Dezembro	57	382	447