

**INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E A  
QUALIDADE FÍSICA DO SOLO NA REGIÃO  
DO CERRADO**

**GIOVANA ALCANTARA MACIEL**

**2008**

**GIOVANA ALCANTARA MACIEL**

**INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E A QUALIDADE  
FÍSICA DO SOLO NA REGIÃO DO CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

**Orientador**  
**Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**  
**2008**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Maciel, Giovana Alcantara.

Integração lavoura-pecuária e a qualidade física do solo na região  
do Cerrado / Giovana Alcântara Maciel. – Lavras : UFLA, 2008.

72 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Mozart Martins Ferreira.

Bibliografia.

1. Integração lavoura-pecuária. 2. Qualidade do solo. 3. Pastejo. 4.  
Atributos físicos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

**GIOVANA ALCANTARA MACIEL**

**INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA E A QUALIDADE FÍSICA  
DO SOLO NA REGIÃO DO CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de  
Lavras como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do  
Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

**Aprovada em 12 de Setembro de 2008**

Prof. Dr. Antonio Ricardo Evangelista	UFLA
Dr. Geraldo Bueno Martha Junior	Embrapa Cerrados
Prof. Dr. Geraldo Cesar de Oliveira	UFLA
Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva	UFLA

**Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira**  
**UFLA**  
**Orientador**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**

*A Deus, pela presença constante em todos os momentos da minha vida.*

*Aos meus avós, Armindo, Vitória e Onícia, exemplos de minha vida.*

*A minha família, que não mediu esforços para que eu chegasse aqui.*

### **OFEREÇO**

*Aos meus irmãos, Fernando e Jota,*

*pelo amor, carinho e confiança.*

*Aos meus pais, João Antonio e Carmem,*

*por todos os ensinamentos de vida.*

*A minha madrinha Marlene, por todo o amor*

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao Professor Mozart Martins Ferreira, pela orientação, confiança e incentivo.

Ao pesquisador da Embrapa Cerrados Dr. Geraldo Bueno Martha Júnior, pela orientação, pelos ensinamentos e, principalmente, pela amizade e paciência.

Aos professores Mozart e Carlos Alberto Silva pela imensa ajuda na conclusão desta etapa.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados, em especial, Lourival Vilela, Alexandre Barcellos, Roberto Guimarães, Robélio Marchão e Euzébio Silva, pela colaboração e incentivo.

Às amigas Keize, Graciele, Pauline, Karina, Adriana, Erivanda, Kenia, Talita, Juliana, Érika Sayuri, Natália, Janine, Euzelina, Gláucia, Dani (secretária-PG), Geila e Elen. E, aos amigos Sandro, Aristides, Flávio, Paulo, Bruno Pires, Leandro Carneiro e César, pela imensa ajuda todas as horas em que precisei.

Ao meu namorado Claudio “De” pelo bom humor nas horas difíceis e pelo carinho de sempre.

A minha tia Édna e sua família pelo apoio, incentivo e, pela presença em todos momentos importantes das nossas vidas.

A todos os demais professores de pós-graduação e funcionários da Embrapa Cerrados e da Universidade Federal de Lavras que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Desempenho da atividade agropecuária.....	3
2.2 Atributos físicos do solo relacionados às pastagens .....	7
2.3 Comportamento dos atributos físicos do solo em área de integração lavoura-pecuária.....	9
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1 Localização e caracterização das áreas de estudo .....	22
3.2 Densidade de partículas, condutividade hidráulica, densidade do solo, volume total de poros, macro e microporos do solo. ....	25
3.3 Estabilidade de agregados em água .....	26
3.4 Amostragem e análise da forragem.....	27
3.5 Análises estatísticas .....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1 Produção de massa de forragem .....	29
4.2 Comportamento dos atributos físicos do solo .....	31
4.3 Relação entre atributos físicos e produção de forragem .....	48
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>68</b>

## RESUMO

MACIEL, Giovana Alcantara. **Integração lavoura-pecuária e a qualidade física do solo na região do Cerrado**. 2008. 72 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.<sup>1</sup>

A física do solo exerce papel fundamental na conservação do solo e água em sistemas agropecuários. Manejos e históricos diferentes das pastagens podem causar efeitos nos atributos físicos do solo, no entanto, estudos sobre este assunto são incompletos. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar, quantitativamente, como os atributos físicos do solo se comportam em diferentes sistemas de pastejo e como a heterogeneidade da condição do pasto devido às diferentes práticas de manejo e épocas do ano (seca e águas) afetam esses atributos. O trabalho foi realizado na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, em dois módulos renovados em 2005. Um módulo foi renovado de modo indireto, com a integração lavoura-pecuária, denominado módulo ILP. No outro módulo, o capim Massai foi estabelecido pelo preparo convencional do solo (módulo convencional). Em cada época, foram coletadas amostras de forragem, diferenciadas em três níveis de altura e vigor, nas condições de pré e pós-pastejo. Imediatamente ao lado da touceira, em cada condição, amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, procedendo-se a caracterização física do solo. Os dados foram analisados seguindo o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com parcela subdividida. A parcela foi composta pelo arranjo fatorial de módulos e épocas e a subparcela por profundidades. Apesar das elevadas taxas de lotação instantâneas verificou-se que, durante o período de pastejo de 68 dias na época seca (3,45 e 5,67 UA ha<sup>-1</sup> para os módulos convencional e ILP, respectivamente) e de 28 dias nas águas (5,78 e 7,07 UA ha<sup>-1</sup> para os módulos convencional e ILP, respectivamente), eventuais danos ocorridos aos atributos físicos do solo foram completamente recuperados. Para a época seca, observou-se que houve aumento das médias de densidade do solo (Ds), no módulo convencional, do período pré para o pós-pastejo. Do mesmo modo, constataram-se diminuição nos valores de volume total de poros (VTP), macroporosidade (MACRO), microporosidade (MICRO) e condutividade hidráulica saturada do solo (Ks), no módulo ILP. Logo após a saída dos animais, não houve diferença entre as médias de Ds nos diferentes períodos avaliados. Com relação à

---

<sup>1</sup> **Comitê de Orientação:** Prof. Mozart Martins Ferreira– DCS/UFLA (orientador); Dr. Geraldo Bueno Martha Júnior – Embrapa-Cerrados (co-orientador).

profundidade, houve uma redução da  $D_s$  da camada superficial para as subsuperficiais e estas últimas não diferiram entre si. Para os atributos VTP, MACRO e  $K_s$ , constatou-se aumento da camada 0-5 cm em relação às demais, confirmando o fato de que a camada superficial é a mais afetada pelo pisoteio animal. A variação da umidade do solo exerceu efeito sobre VTP e MACRO, na época seca, que foram menores que na época chuvosa; para o diâmetro médio geométrico (DMG), nos dois módulos, não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades. O DMG aumentou do período seco para o chuvoso. A variável  $K_s$  indicou efeito semelhante para históricos das pastagens, com maiores valores para o módulo ILP, em comparação ao módulo convencional. Os maiores valores de  $K_s$  foram observados na época das águas. De modo geral, a qualidade física do solo não foi afetada negativamente pelo pisoteio animal, durante a realização deste trabalho.

**Palavras-chave:** integração lavoura-pecuária, qualidade do solo, pastejo, atributos físicos.

## ABSTRACT

MACIEL, Giovana Alcantara. **Integrated crop-livestock and soil physical quality in Brazilian Cerrado**. 2008. 72 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

Soil physics plays a fundamental role in conserving soil and water in agricultural landscapes and is also a key parameter for accessing the sustainability of agropastoral systems. Both pasture history and management can have a significant effect on soil physical attributes, but conclusive research on this subject remains fragmentary. This work aimed to quantitatively investigate how sensitive key traditional soil physical attributes are in different grazing systems and to the inevitably heterogeneity arising from grazing management practices in two occasions, dry and rainy seasons. The field experiment was carried out at Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, in two recent renewed pasture areas in 2005. One area was recovered in an indirect way with integrated crop-livestock system (approach ILP). In the other area, Massai grass was established by a conventional soil tillage (“conventional approach”). In each season, for pre- and post-grazing conditions, herbage was sampled, in three different levels of high and vigor. In close proximity to herbage-sampling station, in each occasion, disturbed and undisturbed soil samples were taken at 0-5 cm, 5-10 cm, and 10-20 cm depths, for the soil physical characterization. The data were analysed following a complete random design by a factorial arrangement in a split-plot design. The plot was composited by factorial arrangement by pasture history and season and the split-plot by soil depths. In spite of the considerably high instantaneous stocking-rates was verified that during the grazing periods of around 68 days in the dry season (3,45 and 5,67 animal units.ha<sup>-1</sup> for the conventional pastoral system and for the ILP system, respectively), and of 28 days in the rainy season (5,78 and 7,07 animal units.ha<sup>-1</sup>, for the conventional pastoral system and for the ILP system, respectively), eventual detrimental grazing impacts on soil physical parameters were fully recovered. In the dry season, the bulk density (Ds) was higher for the conventional treatment, from pre- to post-grazing conditions. In the same way, total soil pore volume (VTP), macropores (MACRO), micropores (MICRO) and hydraulic conductivity (Ks) showed lower values for the ILP treatment. After grazing, Ds was not affected by conditions grazing (pre- and pos-grazing). Regarding to depth, there was a

---

<sup>1</sup> **Guidance committee:** Prof. Mozart Martins Ferreira– DCS/UFLA (Major Professor) and Dr. Geraldo Bueno Martha Júnior – Embrapa-Cerrados.

reduction in the Ds from the 0 – 5 cm depth compared to others layers. For the attributes VTP, MACRO and Ks, confirming the surface layer is the most affected by cattle trampling. The variation of soil moisture affected the VTP and MACRO, that were lower values in the dry season. The average geometric mean diameter (DMG) was differently affected by season and conditions grazing, that showed lower values in the dry season. The variable Ks indicated similar effect to the historic pastures, with higher values for the ILP treatment, compared with the conventional area. The highest values of Ks were observed in the rainy season. Overall, the soil physical conditions, as indicated by indicators attributes, was not affected in a negative way by the cattle trampling during this research.

**Keywords:** Integrated crop-livestock, soil quality, grazing, physical attributes.

## 1 INTRODUÇÃO

A pecuária na região do Cerrado, em termos ambientais, tem se mostrado, de maneira geral, uma atividade de baixa eficiência, com reflexos na rentabilidade do negócio, indicada pelos baixos índices zootécnicos e estado das pastagens. A receita gerada pela atividade, em muitos casos, é insuficiente para sustentar o poder de compra do pecuarista. Assim sendo, a adoção de tecnologia torna-se imprescindível para melhorar a produtividade do rebanho e a viabilidade do empreendimento.

A diversificação de atividades agropecuárias em uma mesma propriedade traz vantagem adicional ao empreendimento, por, geralmente, reduzir o custo de produção e por minimizar o risco do negócio. Nesse sentido, a integração lavoura-pecuária (ILP) tem por princípio a implantação de distintos sistemas produtivos, na mesma área. Com a adoção dessa tecnologia, o acréscimo da produção de forragem estimula o aumento da taxa de lotação animal para que haja melhor aproveitamento da palhada da cultura de grãos, bem como do pasto recém-formado.

A degradação da qualidade física do solo assume importância levando em consideração os aspectos técnicos e ambientais e, como consequência, a viabilidade econômica de sistemas de produção baseados na agropecuária. Estudos a respeito da sustentabilidade agrícola fundamentados por estas questões têm sido pouco desenvolvidos no Cerrado. Esta região merece uma atenção particular, pois nela estão localizadas importantes bacias hidrográficas, além da sua extensa área ocupada por pastagens.

Trabalhos avaliando os efeitos da quantidade de massa de capim por unidade de área e dos componentes de produção das pastagens, como folhas, hastes e material morto sobre os atributos físicos do solo nesta região são pouco

encontrados. Estudos com pastagens e áreas de cultivo indicam que as plantas podem ser importantes na prevenção da compactação e na preservação da agregação do solo. Resíduos orgânicos na superfície do solo ou abaixo dela podem limitar o aumento da densidade do solo, ocasionada por uma dada pressão. No entanto, trabalhos que consideram avaliações realizadas em distintas épocas do ano, analisando principalmente a influência da umidade do solo ainda não foram desenvolvidos na região do Cerrado.

Dadas as ótimas condições edafoclimáticas do Brasil para o adequado desenvolvimento da agropecuária e a relevância da intensificação de sistemas de produção animal a pasto nos últimos anos, cresce a necessidade de pesquisas que consideram a interface solo-planta-animal para o melhor entendimento do efeito desses sobre os atributos do solo sob pastejo.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar, quantitativamente, atributos físicos do solo em resposta ao manejo de pastagens recentemente renovadas de modo direto e indireto com a integração lavoura-pecuária.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Desempenho da atividade agropecuária**

A sustentabilidade dos recursos naturais, solo e água, relacionada às explorações agrícola e pecuária no Brasil, tem sido questionada. Questões referentes à degradação de pastagens, à queda de produtividade das lavouras, ao esgotamento da fertilidade do solo e ao incremento do processo erosivo são freqüentemente levantadas (Kichel et al., 2000).

A tecnificação da pecuária como atividade isolada, visando atingir produtividade e competitividade, geralmente eleva os custos de produção. A necessidade de mão-de-obra especializada, tanto no manejo de animais quanto no uso da maquinaria necessária, é um custo que deve ser diluído quando se faz a integração dessas atividades (Ambrosi et al., 2001). A prática de adubação em pastagens, realizada de forma pouco expressiva, poderá ser intensificada no Brasil por meio de sistemas que envolvam a rotação destas, com outras culturas economicamente rentáveis.

A integração lavoura-pecuária (ILP) baseia-se na implantação de diferentes sistemas produtivos, na mesma área, em plantio consorciado, seqüencial ou rotacionado (Martha Junior et al., 2007). A diversificação de atividades na propriedade, por meio da integração lavoura-pecuária, passa a ser alternativa interessante para reduzir os riscos de produção e para diminuir a flutuação na renda da propriedade, no tocante a variações de preços e de produtividades entre anos (Salton et al., 2001). Fato interessante a ser considerado é que áreas apropriadas à agricultura também são à pecuária, mas o inverso, em algumas situações, nem sempre é verdadeiro.

A integração agricultura-pecuária tem se tornado opção vantajosa, beneficiando duas atividades de importância econômica, a produção de grãos e a pecuária, proporcionando ganhos mútuos ao produtor.

O sistema de rotação lavoura e pastagem proporciona um resíduo no final do período de pastejo que é o resultado do manejo da pastagem. Este resíduo, no final do período, pode ser utilizado como cobertura para a semeadura direta de culturas, reduzindo os riscos de erosão do solo. Dessa forma, os resíduos após o pastejo podem ter os mesmos efeitos de outras coberturas, comumente utilizados em semeadura direta.

Debarba & Amado (1997) constataram que o resíduo deixado após pastejo e os diferentes tipos de espécies utilizadas para alimentar o rebanho podem proporcionar rendimentos diferenciados para as culturas após a utilização da pastagem, da mesma forma que as coberturas tradicionalmente adotadas. Porém, há a necessidade da realização de experimentos em condições variadas, uma vez que o sistema de pastagens em esquemas de rotação de culturas vem sendo utilizado há vários anos, sem uma base de informações científicas para a caracterização de fatores limitantes e benéficos ao sistema de pastagens com rendimento em culturas.

O sistema plantio direto pode também ser realizado na ILP e, em relação à ciclagem biológica, tende à maior conservação de nutrientes em agroecossistemas, quando comparado aos sistemas convencionais de plantio. Da mesma forma, o não revolvimento do solo e a manutenção da palha reduzem as perdas de nutrientes. Esse efeito depende, por sua vez, do tipo de palhada, da sua distribuição e da sua qualidade (Wisniewski & Holtz, 1997).

Por contribuir para uma agricultura sustentável, mantendo alta produtividade com menor impacto ao meio ambiente, o sistema plantio direto tornou-se mais que um método de conservação do solo (Amaral, 2001).

Todavia, apesar de amplamente adotado, esse sistema de plantio depende, para a sua evolução, de fontes eficientes de cobertura morta com longevidade adequada.

Um grande número de trabalhos demonstra o efeito negativo acarretado por vários anos de agricultura contínua sobre várias propriedades do solo (Panigatti, 1992; Diaz Rossello, 1992; Baethgen, 1992; Viglizzo, 1995). Porém, este efeito negativo é revertido na medida em que aumenta o número de anos sucessivos com pastagens (Viglizzo, 1995). Mas, ainda existem dúvidas a respeito de como se comporta o sistema que integra agricultura e pecuária, quando utilizado por longo tempo em razão da compactação do solo (Eltz et al., 1989).

Coimbra et al. (1996), ao avaliarem o efeito do impacto do animal no solo em áreas de plantio direto envolvidas na integração lavoura e pecuária de corte, mostram que os efeitos negativos do pisoteio são ligeiramente revertidos após o cultivo da lavoura de verão, no caso pelo plantio de milho.

Na agricultura, de modo geral, com o aumento da intensidade de cultivo, tem sido observada alteração no tamanho dos agregados do solo, aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e aumento da resistência do solo à penetração (Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; D'Andréa et al., 2002; Silva & Mielniczuk, 1998).

A rotação entre soja e pastagem tem propiciado benefícios para a cultura da soja e para a pastagem, como a diminuição da incidência de plantas invasoras e a quebra do ciclo de pragas e doenças da soja, resultando em aumento de produtividade (Kichel et al., 2000).

O sistema radicular das gramíneas explora volume maior de solo e recicla grande quantidade de nutrientes. Além disso, aumenta a atividade biológica do solo, favorece a elevação do teor de matéria orgânica e reduz a

erosão (Salton et al., 2001). Ademais, as forrageiras do gênero *Brachiaria* são materiais de excelente qualidade para a cobertura do solo no sistema de plantio direto.

As pastagens, geralmente, são mais eficientes na reciclagem de nutrientes do que as culturas anuais. Efeitos positivos da rotação entre as pastagens e cultivos nas propriedades físicas e químicas do solo são apresentados nos trabalhos de Greenland (1971) e White et al. (1978).

Apesar de a viabilidade técnica do consórcio entre milho e braquiária na recuperação de pastagens degradadas ter sido demonstrada nos trabalhos de Carvalho et al. (1990) e Portes et al. (2000), ele encontra desafios, devido à menor capacidade competitiva da cultura com a forrageira, além da dificuldade na colheita da soja, quando em consórcio.

Segundo Cobucci (2001), o manejo da braquiária com o uso de herbicidas ou o plantio da braquiária em pós-emergência da cultura da soja, associado ao uso de variedades precoces de porte médio a alto e à maior altura de inserção da primeira vagem, poderão viabilizar o sistema.

Sistemas de recuperação de pastagens envolvendo integração lavoura e pecuária permitem, ainda, a produção de alimento suplementar para o gado em épocas críticas, a geração de receitas com a diminuição dos custos da reforma, o aproveitamento de resíduos de adubos minerais, o controle de invasora e maior eficiência do uso de máquinas e implementos com a racionalização no emprego da mão-de-obra (Carvalho et al., 1990; Mella, 1994).

Mesmo com vários avanços na pesquisa sobre o sistema agropastoril, questiona-se a intensidade com que cada cultura interfere no crescimento da forrageira, o modo pelo qual a pastagem se recupera após a colheita das culturas e quais as variações no crescimento da gramínea forrageira no cultivo consorciado, em relação ao solteiro (Portes et al., 2000).

A demanda de conhecimento e de técnicas que visam à sustentabilidade dos sistemas de produção animal e à necessidade crescente de preservar os recursos ambientais, como o solo e a água, minimizando os impactos negativos da erosão e compactação, constituem alvo permanente do manejo de pastagens (Queiroz et al., 2005).

## **2.2 Atributos físicos do solo relacionados às pastagens**

A maioria dos estudos a respeito da parte física dos solos cultivados com pastagens é baseada em propriedades que afetam direta ou indiretamente o crescimento vegetal. Entre elas estão densidade do solo (Nie et al., 2001), resistência à penetração (Williams & Kalmbacher, 1996; Krzic et al., 1999; Imhoff et al., 2000), condutividade hidráulica (Harrison et al., 1994; Francis et al., 1999), porosidade (Hart et al., 1988; Davies et al., 1989), argila dispersa em água (Muller et al., 2001), agregação (Bell et al., 1997; Francis et al., 1999) e características de retenção de água (Hart et al., 1988; Williams & Kalmbacher, 1996; Mapfumo et al., 2000).

De acordo com Luz & Herling (2004), as alterações das propriedades físicas podem ocorrer, com maior ou menor intensidade, devido ao pisoteio animal que, por sua vez, depende da intensidade e da frequência do pastejo, pois os animais aplicam pressões no solo que podem ser superiores àquelas aplicadas por máquinas agrícolas. Além desses aspectos, outros fatores condicionam a degradação dos atributos físicos do solo, tais como as características da forrageira (hábito de crescimento), a textura da camada superficial do solo e a umidade no momento de pastejo, que pode ser agravada pela irrigação, além do manejo dos condicionadores do pastejo (bebedouro x cocho de sal).

Uma das principais questões se refere à real capacidade de recuperação do solo decorrente das interações entre o solo e o sistema radicular de espécies utilizadas como pastagens, bem como ao período de descanso necessário para que este processo ocorra. Decaëns et al. (1999) comentaram que os principais fatores que influenciaram as propriedades físicas do solo foram o tipo e a idade da pastagem, o que pode ser devido a efeitos específicos da planta, índice de área foliar, qualidade e quantidade de massa produzida, e efeitos temporários do pisoteio animal, os quais podem diferir de acordo com o histórico e a natureza da pastagem, principalmente com relação ao manejo.

A compactação do solo traz como conseqüência mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, principalmente em processos dinâmicos, tais como movimentação da água, ar e nutrientes; crescimento radicular das plantas e na difusibilidade térmica ao longo do perfil (Canalli & Roloff, 1997). Os atributos físicos do solo são interdependentes e, com isso, a modificação de um deles normalmente leva à modificação de todos os demais (Vieira, 1985).

A pastagem, quando bem manejada, dentre as alternativas de uso da terra, é, provavelmente, aquela que causa menor degradação física do solo, por mantê-lo coberto durante o ano inteiro, constituindo uma proteção contra o impacto das gotas de chuva, evitando a deterioração da estrutura na superfície do solo e reduzindo as perdas de água por evaporação. Além disso, o vasto e permanente sistema radicular das gramíneas forrageiras atua efetivamente na melhoria da estrutura, devido à ação biológica e física direta na agregação das partículas (Oades, 1993). Porém, estudos que relacionam a quantidade de massa por unidade de área, bem como os componentes do resíduo (folha, haste e material morto) com a qualidade física do solo, não são realizados. E esse fato pode gerar inconsistência em respostas futuras. Como exemplo, vale lembrar que um pasto pode ter uma quantidade de resíduo alta e de baixa qualidade,

composta, basicamente, por hastes e vice-versa, e isso pode exercer influência na capacidade de retenção de água pelo solo, afetando negativamente a qualidade física do solo.

### **2.3 Comportamento dos atributos físicos do solo em área de integração lavoura-pecuária**

Um conjunto de atributos do solo pode ser analisado e quantificado com o objetivo de avaliar a qualidade de um solo. A qualidade física do solo é fundamental para a sustentabilidade global dos agroecossistemas (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005). O conceito de qualidade física do solo é dinâmico e abrangente e tem sido discutido desde o início da década de 1990. No entanto, a qualidade física do solo é ainda uma área de pesquisa em expansão (Reynolds et al., 2002).

De acordo com Brossard & Barcellos (2005), com o desenvolvimento agrícola, a modificação da biomassa vegetal constitui a primeira transformação de importância no Cerrado. Considerando a extensão do bioma e a área de pastagens em degradação, observou-se, em análises de rotina de camadas superficiais de solos, redução dos conteúdos de carbono em relação aos valores de solos sob vegetação nativa (Corazza et al., 1999, 2000). Esse decréscimo tem implicações sobre a disponibilidade de elementos químicos trocáveis, tendo em vista a forte dependência da capacidade de troca de cátions dos solos do Cerrado do conteúdo de matéria orgânica.

Simultaneamente aos impactos mencionados, os processos físicos de transformação e suas alterações são mecanismos de evolução da estrutura e da porosidade do solo e, conseqüentemente, das características hidrodinâmicas (Brossard & Barcellos, 2005).

A densidade do solo refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, o teor de matéria orgânica e o uso e manejo do solo (Corsini & Ferraudo, 1999; Silva et al., 2000). O aumento excessivo da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência mecânica à penetração, o que ocasiona prejuízo à qualidade física do solo. Densidade com valor entre 1,27 e 1,57 g cm<sup>-3</sup> é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (Alvarenga et al., 1996; Corsini & Ferraudo, 1999). De maneira geral, o valor de 1,40 g cm<sup>-3</sup> é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (Arshad et al., 1996).

Siqueira Junior (2005) avaliou as alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira no Paraná, com período de pastejo das vacas de cinco meses, na forma de pastejo contínuo e com taxa de lotação animal média igual a 2,63 UA ha<sup>-1</sup> variando de 2,13 UA ha<sup>-1</sup> até 3,15 UA ha<sup>-1</sup>, para uma disponibilidade média de matéria seca de forragem de 4 t ha<sup>-1</sup>. Este autor observou diminuição da porosidade total do solo na camada de 5 a 8 cm de profundidade e aumento na densidade do solo nesta mesma camada. Porém, os resultados indicam que não houve efeito do pisoteio sobre a produtividade da soja, quando plantada em área que foi pastejada anteriormente (pastejo + plantio direto) e entre a área que não foi pastejada (plantio direto). Isso comprovando que a presença dos animais pastando no inverno na mesma área não prejudica a cultura de verão, no caso a soja, apresentando alta produtividade média com pastejo (4.083 kg ha<sup>-1</sup>) e sem pastejo (4.107 kg ha<sup>-1</sup>). Logo, o aumento de 4,5% da densidade do solo não foi suficiente para provocar decréscimos na produtividade. Resultados similares foram obtidos por Consalter (1998) e Carvalho (2003).

Fraga et al. (2006) realizaram um trabalho para determinar as alterações ocorridas na densidade, na macroporosidade e na microporosidade do solo, promovidas pelo pisoteio animal após o pastejo e após o ciclo de soja em áreas com diferentes alturas de manejo da pastagem. Os autores verificaram que, após 120 dias de pastejo contínuo, ocorreu um aumento dos valores de densidade do solo à medida que diminuíram as alturas de manejo da pastagem. No entanto, os valores foram menores ( $P < 0,05$ ) na área sem pastejo em relação às áreas pastejadas. Nessa ocasião, a macroporosidade e a porosidade total foram maiores e a microporosidade menor na camada de 0-2,5 cm na área sem pastejo. Dentre as alturas de manejo da pastagem, a de 40 cm tendeu a apresentar os maiores valores para macroporosidade e porosidade total. Na comparação entre os resultados obtidos após o pastejo e após a cultura da soja, verificou-se, no final do ciclo da soja, que há diminuição dos valores de densidade do solo, aumento da macroporosidade e da porosidade total, enquanto a microporosidade permanece praticamente inalterada. As alterações nos atributos físicos decorrentes do pisoteio animal não atingiram níveis prejudiciais ao estabelecimento da cultura da soja, implantada após dois ciclos de pastejo.

Marchão et al. (2007), avaliando a qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária, no Cerrado, observaram que os quatro anos da pastagem de *Panicum maximum* na rotação, em conjunto com o plantio direto, provocaram uma compactação superficial em relação às demais pastagens (*B. decumbens* e *brizantha*) e às áreas em plantio convencional.

Spera et al. (2004), avaliando os atributos físicos de solo e o rendimento de grãos num Latossolo Vermelho distrófico típico, em Passo Fundo (RS), observaram que a densidade do solo, em todos os sistemas de produção estudados, é maior em subsuperfície (10-15 cm), exceto para floresta

subtropical. Ao contrário do que se poderia esperar, o pisoteio de animais nas parcelas com pastagens anuais de inverno e perenes, na lotação e na frequência adotada, mesmo que em condições de solo úmido e de biomassa da pastagem similares, não levou, principalmente na camada de 0-5 cm, à obtenção de maiores valores para densidade do solo.

De acordo com Albuquerque et al. (2001), em sistemas de integração lavoura-pecuária, a presença de raízes de gramíneas melhora a estrutura do solo, amenizando o impacto do pisoteio. No entanto, maiores valores para densidade do solo na camada superficial podem ser atribuídos, principalmente, ao efeito do pisoteio animal, combinado ao trânsito de máquinas, conforme constataram também Anjos et al. (1994).

Carvalho (1976) verificou que altas taxas de lotação animal por pouco tempo podem ser suficientes para provocar aumento da densidade do solo e influir nos demais atributos físicos; entretanto, depois de cessado o pisoteio, ocorreria regeneração da densidade do solo. Oliveira et al. (2000) e Macedo (2001) apontaram que, em sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, o rendimento de culturas anuais após a pastagem tende a ser maior que na ausência de rotação com pastagem.

Os processos de regulação das estruturas e da macroporosidade são modificados pela fauna de invertebrados, particularmente a de insetos sociais. Esses efeitos, particularmente nas áreas sob o cerrado, não são observados em pastagens em declínio ou de baixa capacidade produtiva. Em situações de renovação ou de recuperação dessas pastagens, ou seja, em ambientes manejados de forma mais intensiva e controlada, como, por exemplo, a integração lavoura-pecuária, as estruturas se tornam novamente favoráveis ao enraizamento (Fregonezi et al., 2001).

Os processos hidrodinâmicos de superfície do solo passam a ser regulados pela cobertura vegetal. O escoamento e o início de erosão podem ser considerados processos pouco relevantes (Brunet et al., 2002) dentro dos limites estudados. As condutividades hidráulicas parecem ser pouco modificadas, embora esse resultado mereça ser mais bem estudado e confirmado (Balbino et al., 2003).

A adoção de técnicas como a adubação, a irrigação e diferentes práticas de manejo tem ocorrido no intuito de se obter incremento da produtividade. Entretanto, estes fatores podem originar uma série de alterações físicas ao solo. Diversos tipos de solos vêm perdendo a sua qualidade física, em decorrência dos processos de compactação a que estão sendo expostos. A compactação do solo, tendo atingido aproximadamente mais de 68 milhões de hectares, destaca-se em âmbito mundial como um dos fatores que têm limitado a qualidade física de terras agrícolas e à obtenção de maiores índices de produtividade (Soane & Ouwerkerk, 1994; Alakukku et al., 2003).

Para um adequado crescimento, as plantas necessitam de uma estrutura que possibilite uma área de contato entre as raízes e o solo, que assegure a obtenção de água e nutrientes e um suficiente espaço poroso para o fornecimento adequado de oxigênio. A compactação, ao causar modificações na estrutura do solo, pode limitar a adsorção e a absorção de nutrientes, a infiltração e a distribuição de água e, por sua vez, resultar em problemas no estabelecimento e no crescimento de raízes. Esta limitação é originada por alterações em atributos físicos do solo, como aumento da densidade e da resistência à penetração, da diminuição da porosidade e de modificações na continuidade dos poros (Greacen & Sands, 1980; Lhotský et al., 1991; Flowers & Lal, 1998).

Fatores externos e internos condicionam a resposta do solo à compactação e, decorrente disso, o grau de degradação da qualidade estrutural. Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, pela intensidade e pela frequência da pressão exercida, seja por máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou pisoteio de animais e os internos, pelas propriedades físicas, mais especificamente pelo teor de carbono orgânico, pela textura e pela umidade do solo (Raghavan et al., 1990; Assouline et al., 1997; Defosse & Richard, 2002). Há indicações, na literatura científica, de que tratores agrícolas podem exercer no solo pressões que variam de 70 a 350 kPa (Soane, 1986). Por outro lado, em sistemas de pastejo, o gado pode aplicar pressões que variam de 350 a 400 kPa (Proffit et al., 1993).

A umidade é o fator mais importante na determinação da magnitude de deformação que pode ocorrer no solo quando determinada pressão é aplicada (Sanches-Girón et al., 1998; Mosaddeghi et al., 2000), já que a água atua como lubrificante entre as partículas do solo, favorecendo o deslocamento e o rearranjo das mesmas para posições de maior proximidade, aumentando a densidade do solo. No entanto, trabalhos que consideram avaliações realizadas em distintas épocas do ano, que exercem influência na umidade do solo, não são desenvolvidos na região do Cerrado. Este é um aspecto que pode gerar importantes respostas para nortear o manejo das pastagens, bem como das práticas culturais.

De acordo com Lima (2004), em função dos animais não permanecerem estáticos na área, é comum observar, em sistemas de pastejo, pontos mais compactados (correspondentes às marcas dos cascos) distribuídos desuniformemente no solo. Essa desuniformidade é aumentada quando o solo está úmido, conforme observado em sistema irrigado. Por outro lado, é de se esperar que, com os sucessivos ciclos de pastejo, os animais pisoteiem toda a

área pastejada, induzindo à maior uniformidade do estado físico do solo, contribuindo assim para a redução da variabilidade e a obtenção de diferenças significativas dos parâmetros analisados em relação à condição natural. Similar tendência dos valores de capacidade de suporte de carga do solo avaliada no decorrer de um experimento foi apresentada por Horn (2003).

O volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado pela pressão mecânica exercida sobre o solo, refletindo num aumento menos acentuado do volume de microporos e numa diminuição também pouco expressiva do volume total de poros (Baver et al., 1972). Assim, os macroporos são os primeiros a serem afetados de forma mais intensa pela pressão mecânica exercida sobre o solo.

No trabalho realizado por Bertol et al. (2000), observou-se que, nas profundidades do solo estudadas, a porcentagem de macroporos aumentou com o aumento da oferta de forragem. O maior volume de macroporos (19,8%) foi encontrado na mata nativa, na profundidade de 0-5 cm, explicado pela grande quantidade de restos vegetais e, ainda, pela total ausência de pressão mecânica exercida sobre o solo. O menor valor (3,7%) ocorreu no tratamento 8,0% de oferta de forragem, na profundidade de 0-5 cm, indicando que esta variável é fortemente afetada pela pressão exercida sobre o solo pelo pisoteio animal. A porosidade total aumentou com o aumento da oferta de forragem, acompanhando o comportamento da macroporosidade. Isto está relacionado com a diminuição da pressão mecânica ocasionada pela menor pressão de pastejo. Neste trabalho, analisando conjuntamente os valores de densidade do solo, diâmetro médio ponderado, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, pode-se considerar que os níveis de oferta de forragem abaixo de 12,0% causam forte alteração negativa nas propriedades físicas do solo. Isto poderá afetar a produtividade da pastagem e o ganho animal no curto prazo e, de

acordo com o tempo de descanso a que a pastagem é submetida, há uma renovação de seu sistema radicular, regenerando a estrutura do solo.

A condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_s$ ), devido à sua importância ao informar sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo, deve ser bem caracterizada, pois, de modo geral, seu valor é utilizado nos cálculos de fluxos no solo. A condutividade hidráulica saturada de um solo é determinada pela geometria e pela continuidade dos poros preenchidos com água, tornando-se dependente, portanto, da forma, da quantidade, da distribuição e da continuidade dos mesmos. Métodos indiretos para a obtenção de condutividade hidráulica saturada podem assumir algumas relações matemáticas e correlações entre  $K_s$  e outras variáveis não hidráulicas do solo, tais como densidade, porosidade total, macro e microporosidade, as quais influenciam a distribuição dos poros e, por consequência, a permeabilidade dos solos (Mesquita & Moraes, 2004).

A condutividade hidráulica pode variar com o solo, o tipo de uso, o manejo, a porosidade, a textura e a temperatura do solo e da água. Quando a infiltração atinge um valor constante, ela é considerada como capacidade mínima de infiltração, sendo este valor correspondente à, aproximadamente, condutividade hidráulica saturada do solo, que é específica de cada solo (Cabral et al., 2001).

No trabalho realizado por Marchão et al. (2007), os valores de microporosidade efetiva, definida pela diferença entre os conteúdos de água nas tensões de 6 kPa e 1.515 kPa, foram significativamente superiores aos observados no cerrado em todos os sistemas de manejo, o que promoveu aumento na água prontamente disponível, calculada pela diferença entre o conteúdo volumétrico de água nas tensões de 6 e 1.000 kPa (Silva & Resck, 1981). A microporosidade efetiva e a água prontamente disponível expressam a

capacidade do solo de armazenar e disponibilizar água para as plantas e são atributos importantes na região do Cerrado. Nesta região, a redução da disponibilidade de água no solo pode prejudicar ou, até mesmo, limitar o desenvolvimento de algumas forrageiras (Muller et al., 2002) e pode se tornar um fator limitante no estabelecimento de pastagens de inverno. Nos sistemas de ILP, um aumento na capacidade de armazenamento de água do solo é fundamental para o sucesso das culturas de sucessão implantadas, que têm por objetivo fornecer forragem na entressafra.

De acordo com Chaves et al. (1993), o impacto das gotas de chuva contribui para a redução da taxa de infiltração devido à diminuição da rugosidade superficial, reduzindo as chances de empoçamento e pela formação de uma fina camada adensada na superfície, com uma condutividade menor do que a do solo subjacente. Essa camada recebe o nome de selo superficial e, depois de seca, torna-se uma crosta superficial, podendo reduzir a permeabilidade do solo em até 90%.

A sucção aumenta com o decréscimo do tamanho dos poros. Sendo assim, ao aumentar o esforço de compactação, diminui-se o tamanho dos poros levando a curva de retenção às porções superiores do gráfico e ao aumento da pressão de entrada de ar (Silva, 2005).

Miller et al. (2002) mostraram que este efeito é mais significativo em solos com alta plasticidade. Isto porque o aumento do esforço de compactação leva a uma mudança percentual maior na densidade em solos com maior quantidade de argila.

Por ser um fenômeno de superfície, a infiltração é influenciada pelo preparo do solo, o qual exerce um efeito temporário ao deixar o solo solto, aumentando a infiltração. Entretanto, se a superfície não estiver protegida com vegetação ou cobertura morta, a chuva e o vento, atuando na superfície do solo,

reduzem a taxa de infiltração. A aração profunda é também um fator favorável ao aumento da infiltração, enquanto práticas que exercem compressão no solo podem diminuí-la. O cultivo em contorno, retardando a enxurrada, favorece a infiltração.

No trabalho realizado por Silva et al. (2005), observou-se que os valores de permeabilidade do solo à água indicam uma redução significativa, em média 75%, quando comparados com o sistema em equilíbrio (cerrado nativo). As substituições das vegetações nativas por lavouras, com a adoção de manejo inadequado, têm propiciado alterações significativas neste atributo, modificando todo um ciclo da água na bacia hidrográfica. Entretanto, com a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, existe uma tendência de o quadro inverter.

É necessária também uma comunicação entre os poros, pois, caso isso não ocorra, a água ficará retida no poro, não sendo drenada da superfície, o que diminui drasticamente a taxa de infiltração (Camargo & Alleoni, 1997).

De acordo com Collares et al. (2006), os resultados de densidade e porosidade do solo permitem inferir sobre o estado de compactação e indicam estratégias de manejo do solo que minimizam os efeitos negativos da compactação. As variações na umidade do solo estão ligadas aos níveis de compactação impostos e aos ciclos de umedecimento e secagem, conseqüentes das precipitações e estiagens.

Bertol et al. (2000) realizaram um estudo com objetivo de avaliar as alterações nas propriedades físicas de um Cambissolo álico cultivado com uma pastagem de capim-elefante-anão, cv. Mott, sob diferentes pressões de pastejo. Foi observado que, na camada 0-5 cm, os valores de densidade do solo foram altos, especialmente nos tratamentos 4,0% e 8,0% de oferta de forragem, equivalentes às maiores pressões de pastejo, o que confirma dados obtidos por

Bertol et al. (1998) em condições de campo nativo. Isso demonstra que elevadas pressões de pastejo podem danificar a estrutura do solo, aumentando a densidade. O aumento da densidade do solo, causado pela diminuição da oferta de forragem, refletiu no diâmetro médio geométrico dos agregados e na distribuição de tamanho dos poros.

O papel das raízes na formação de agregados, especialmente de plantas da família das gramíneas, tem se mostrado muito importante, conforme demonstrado em vários trabalhos, como o de Silva & Mielniczuk (1997), que avaliaram a distribuição de tamanho dos agregados estáveis em água em dois solos do Rio Grande do Sul e verificaram maior diâmetro de agregados do solo sob o sistema pangola em comparação a aveia/milho, siratro e solo descoberto.

Bronick & Lal (2005), em trabalho de revisão, apontaram importantes efeitos das raízes, com especial destaque para a rizosfera, na formação e na estabilidade dos agregados. Sistemas de preparo de solo associados à rotação de culturas influenciam a estabilidade e o tamanho de agregados, conforme relatam Hernani & Guimarães (1999). Esses autores verificaram, para condições do estado de Mato Grosso do Sul, ter havido significativa elevação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água, quando o plantio direto foi associado à rotação de culturas, fato que não se repetiu quando o sistema de preparo foi conduzido em ausência da rotação. Quando uma das culturas do sistema é a pastagem, esses efeitos ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao abundante sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação (Salton et al., 1999).

Salton et al. (2008), com o objetivo de verificar o efeito de sistemas de manejo na agregação do solo, avaliaram experimentos de longa duração, localizados em Mato Grosso do Sul, com lavouras em plantio direto e convencional, pastagens permanentes e sistemas de rotação lavoura-pastagem.

Os sistemas de manejo, ao influenciarem a intensidade dos fluxos e a dinâmica de matéria e energia para o sistema solo, resultaram em diferentes graus de organização da massa do solo em agregados. A maior quantidade de agregados da classe de 4,76 mm no sistema PP (pastagem contínua de *B. decumbens*), também na profundidade de 10 a 20 cm, indica a existência de efeito do sistema radicular da pastagem permanente no processo de formação dos macroagregados.

Nesse trabalho, de modo geral, independentemente da profundidade, foram observados maiores percentuais de agregados grandes nos sistemas com pastagem permanente e menores para o sistema lavouras em plantio direto, ficando os sistemas com a rotação lavoura-pastagem em posição intermediária. A atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para a formação de macroagregados estáveis, conforme os dados apresentados por Pinheiro et al. (2004), em que um Latossolo do Rio de Janeiro apresentou DMP de 4,2 mm quando sob gramínea, 3,0 mm sob plantio direto e 2,0 mm para o sistema convencional.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2005), avaliou-se a alteração em atributos indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, sob diferentes sistemas de manejo em relação ao cerrado nativo. Os sistemas convencionais CCM (cultivo convencional com milho em rotação com feijão), CCB (cultivo convencional de batata) e CCBAM (cultivo convencional de batata, sucedido por aveia após uma subsolagem, em rotação com milho), com pouco tempo de implantação, não alteraram a estabilidade de agregados o suficiente para diferir do cerrado nativo, enquanto os sistemas PDM (plantio direto com milho, após cultivos convencionais com batata, arroz e milho) e cultivo de eucalipto com menor revolvimento estão estabelecendo uma

nova condição de equilíbrio. A provável explicação para a manutenção dessa condição está relacionada ao não revolvimento do solo nos últimos anos e também ao acúmulo de carbono orgânico (palhada e liteira), além da capacidade agregante do sistema radicular da gramínea consorciada (*Brachiaria brizanta*) no sistema PDM. Nos sistemas com pouco tempo de implantação (CCB, CCBAM e CCM) e nos quais se praticam o revolvimento do solo, as prováveis explicações para a continuidade do equilíbrio com a condição natural, ou seja, a redução não significativa desse atributo indicador da qualidade do solo seriam o pouco tempo de cultivo e o grande aporte de carbono orgânico, oriundo do desmatamento do cerrado, o que, provavelmente, está mantendo a estabilidade dos agregados nesses sistemas.

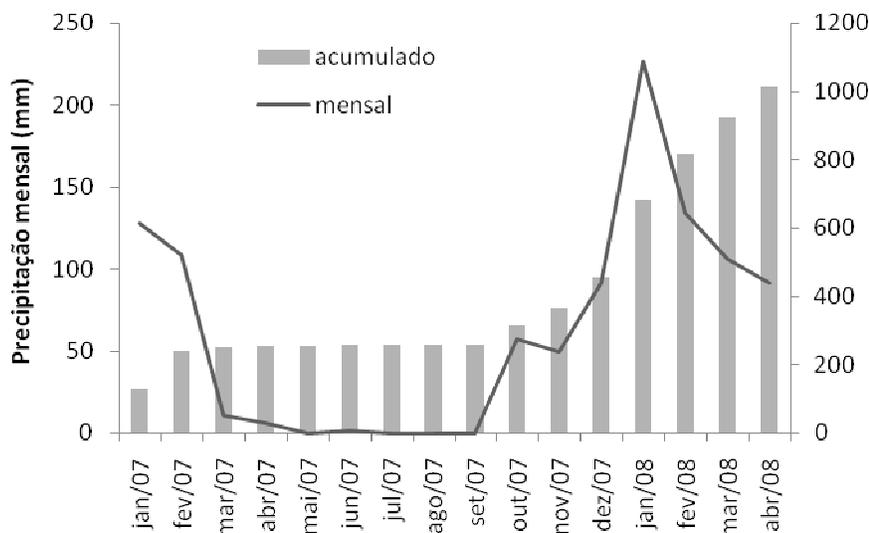
A estabilidade de agregados, a macroporosidade e a condutividade hidráulica podem aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas, devido à combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens (Marchão, 2007). Este processo é rapidamente revertido quando o solo volta a ser preparado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização das áreas de estudo

O estudo foi conduzido em área experimental pertencente à Embrapa Cerrados, Planaltina, DF (15°35'S, 47°42'W, 1.007 m de altitude), no período de janeiro de 2007 a abril de 2008. A área experimental encontrava-se ocupada por pastagens degradadas, com predominância de *Brachiaria* spp. e *Andropogon gayanus* cv. Planaltina.

A área, caracterizada pela classe de relevo plana, apresenta clima classificado como Aw, conforme classificação de Köppen, com duas estações bem definidas (seca e chuvosa) e ocorrência de períodos de estiagem durante a estação chuvosa (veranicos). A precipitação média anual para a região de estudo é de 1.230 mm, com maiores índices no período de outubro a janeiro e temperatura média mensal de 21,8°C. Durante o período experimental observou-se uma condição atípica, com redução da pluviosidade em relação às médias observadas em anos anteriores, como se observa na Figura 1. Dentro da estação seca, nos meses de maio e junho de 2007, a precipitação média foi de apenas 1,4 mm.



**FIGURA 1** Precipitação mensal e acumulada durante o período experimental, de janeiro de 2007 a abril de 2008. Fonte: Embrapa-CPAC.

Para o presente estudo, foram escolhidos dois módulos renovados em 2005. Um módulo foi renovado de modo indireto pela integração lavoura-pecuária, com preparo convencional do solo, estabelecendo a pastagem de *Panicum spp.* cv. Massai consorciado com sorgo, denominado módulo ILP. No outro módulo, o capim ‘Massai’ foi estabelecido pelo preparo convencional do solo (módulo convencional).

O módulo ILP (3 ha) e o convencional (5 ha) apresentaram, no período seco, taxa de lotação instantânea igual a 5,67 e 3,45 unidade animal ha<sup>-1</sup> (UA ha<sup>-1</sup>), respectivamente, com tempo de permanência dos animais de 68 dias. Na época das águas, o período de ocupação foi de 28 dias em cada módulo, com taxa de lotação animal instantânea igual a 5,78 e 7,07 UA ha<sup>-1</sup>, para os módulos convencional e ILP, respectivamente.

Foram realizadas amostragens de solo e de forragem em duas épocas do ano. Os meses de maio e junho de 2007 correspondem à época seca e a época das águas compreendeu os meses de fevereiro e março de 2008.

Para a caracterização física do solo a amostragem foi realizada ao lado das touceiras, nos períodos pré e pós-pastejo em três profundidades (0-5; 5-10 e 10-20 cm), com 15 repetições para cada módulo, totalizando 45 amostras. Foram coletadas amostras indeformadas com auxílio de anéis volumétricos de aproximadamente 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura.

Para a caracterização química do solo (Tabela 1), foram coletadas amostras nas áreas das diferentes pastagens na camada de 0-20 cm de profundidade. As análises químicas seguiram a metodologia da Embrapa (1997).

**TABELA 1** Caracterização química do solo na camada 0-20 cm

Módulos	pH	P	K	Ca	Mg	Al	T	V	MO
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	
<b>ILP</b>	5,5	18,2	0,3	2,4	1,3	0,4	8,9	44,0	2,9
<b>Convencional</b>	5,6	13,1	0,3	3,1	1,7	0,3	9,5	54,0	3,2

pH em água (relação 1:2,5); P, K: Extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al Extrator KCl 1N; T (capacidade de troca catiônica a pH 7,0); V (índice de saturação por bases); MO (matéria orgânica) oxidação Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 4N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10N.

Em ambos os módulos na adubação de plantio foram aplicados a lanço 165 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 00-32-00 + micros. Na seqüência, as sementes da forrageira foram distribuídas a lanço (distribuidor de mecanismo pendular, em faixas de distribuição espaçadas de 4,0 m), na taxa de 4,5 kg/ha de sementes puras viáveis.

Foi realizada uma adubação nitrogenada com 95 kg ha<sup>-1</sup> de uréia no módulo ILP, em dezembro de 2006 e o convencional não recebeu adubação de

manutenção. Desde a formação, em dezembro de 2005, o módulo ILP permaneceu 119 dias ocupados, com taxa de lotação animal média igual a 16,7 UA ha<sup>-1</sup> e o convencional ficou 118 dias ocupados, com taxa de lotação média de 10,7 UA ha<sup>-1</sup>. Dessa forma, o módulo ILP caracteriza-se por um manejo mais intensificado, em relação ao módulo convencional, com maior rotatividade de animais e, conseqüentemente, maior extração de nutrientes via consumo de forragem pelos animais.

### **3.2 Densidade de partículas, condutividade hidráulica, densidade do solo, volume total de poros, macro e microporos do solo.**

A densidade de partículas (Dp) foi avaliada pelo método do balão volumétrico, com a utilização de álcool etílico (Blake & Hartge, 1986).

A condutividade hidráulica (Ks) foi avaliada em laboratório, partindo-se de amostras com estrutura não deformada, coletadas com os referidos anéis volumétricos. Utilizou-se permeâmetro adaptado por Lima et al. (1990) para a eliminação da água percolada junto às paredes do cilindro. A permeabilidade foi classificada segundo classificação de Soil Survey Staff (1951), adaptada por Lima et al. (1990), onde as classes de permeabilidade são >254; 254 a 127; 127 a 63,5; 63,5 a 20; 20 a 5 e <5 mm h<sup>-1</sup>, classificadas em rápida, moderada a rápida, moderada, lenta a moderada, lenta e muito lenta, respectivamente.

Para cada profundidade, as amostras foram previamente saturadas e submetidas ao processo de centrifugação (Silva & Azevedo, 2002), para a determinação do conteúdo da água do solo em equilíbrio com as tensões correspondentes a 0,01; 0,03; 0,06; 0,10; 0,33; 0,80; 6,0 e 1,5 MPa (Silva et al., 2006). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, para a determinação da massa seca e cálculo da densidade do solo (Ds) e dos conteúdos volumétricos de água ( $\theta$ ) associados a cada tensão aplicada (KPa).

A média dos conteúdos de umidade de cinco repetições, em cada rotação, foi utilizada no levantamento da curva de retenção de umidade do solo, em razão do período de centrifugação utilizado. O modelo de Genutchen, indicado como um dos mais adequados na representação do fenômeno da retenção da umidade no solo (Genutchen & Nielsen, 1985; Kool et al., 1987; Silva, 1990), foi representado pela seguinte equação:

$$(\Theta - \Theta_r) / (\Theta_s - \Theta_r) = [1/(1 + (\alpha h)^n)]^{(1-1/n)},$$

em que  $\theta$  é o conteúdo de umidade no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_r$  é o conteúdo residual de umidade no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_s$  é o conteúdo saturado de umidade no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $h$  é a tensão da umidade no solo gerado pela centrifugação (kPa) e  $n$  é o parâmetro empírico de ajuste (adimensional);

Na separação entre macro e microporos, foi utilizado o conteúdo de água correspondente à tensão de 6 KPa (Embrapa, 1997). As curvas características de retenção de água para a área experimental (módulos ILP e convencional), determinadas pelo método da centrífuga, são apresentadas na Figura 1A, nos Anexos.

### **3.3 Estabilidade de agregados em água**

Após as coletas, as amostras foram, então, levadas ao laboratório, destorroadas manualmente, secas ao ar por 48 horas e, posteriormente, passadas em um jogo de peneiras de malha de 4,76 mm a 2,0 mm. Foram utilizados para realização da análise de estabilidade de agregados aqueles retidos na peneira de 4,76 mm. Adotou-se a metodologia de Embrapa (1997), com pré-umedecimento dos agregados. Para a separação das classes de tamanho dos agregados, foram utilizadas peneiras com malhas de 2 mm, 1mm, 0,5 mm, 0,25 mm e 0,105 mm.

Para esta análise, retiraram-se torrões nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado utilizando-se a expressão:

$$\text{DMG} = e^{[\sum(w_i * \text{Ln}x_m)/\sum w_i]}.$$

em que:

DMG: diâmetro médio geométrico (mm);

$w_i$ : massa dos agregados de cada classe de tamanho (g);

$\text{Ln } x_m$ : logaritmo natural do diâmetro médio de cada classe de tamanho;

$\sum w_i$ : massa total da amostra (g).

### **3.4 Amostragem e análise da forragem**

Para a amostragem de forragem, houve uma estratificação relacionada à heterogeneidade da altura e do vigor do capim nos módulos. Os métodos aplicados para a estimativa da produção foram: do corte (pelo método do quadrado), da altura (medição da altura da planta) e da observação visual com pontuação que variava de 10 a 30 pontos, com a menor e a maior quantidade de forragem disponível dentro da pastagem, respectivamente. Na seqüência, foi definido o padrão 20 (intermediário). Após a definição dos padrões e o treinamento de dois avaliadores, realizaram-se as avaliações visuais, individualmente, em cada um dos 30 pontos de amostragem. A forragem foi coletada manualmente e pesada. De cada amostra foi retirada uma subamostra, para a separação das folhas, hastes e material morto. Posteriormente, foi determinada a matéria seca a 65°C deste material.

### **3.5 Análises estatísticas**

Os dados foram analisados seguindo um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial com parcela subdividida. A parcela foi

composta pelo arranjo fatorial entre módulos e épocas e a subparcela por profundidade. As médias dos módulos e épocas foram comparadas pelo teste t (LSD) e a profundidade, pelo teste deTukey, a 5% de probabilidade, com auxílio do pacote estatístico SISVAR<sup>®</sup> (Ferreira, 2005).

Procedeu-se a uma análise de correlação entre os valores de massa total, massa de folhas e de hastes por unidade de área relacionada às diferentes alturas da forragem e os valores dos atributos físicos do solo sob essas condições de pasto.

Os dados obtidos referentes as avaliações visuais da forragem foram submetidos à regressão linear, gerando equações para estimar a produção de massa seca em função dos métodos indiretos (Maciel et al., 2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção de massa de forragem

Os dados sobre disponibilidade de forragem, expressa em kg MS ha<sup>-1</sup> para as épocas coletadas, referentes às quantidades de massa total, massa de folhas, de hastes e a densidade de folhas e hastes (kg cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>), avaliados, no período pré-pastejo, encontram-se na Tabela 2. Nos dois módulos, integração lavoura-pecuária e convencional, as produções de massa total e de folhas disponíveis no momento da coleta não apresentaram diferenças significativas entre os módulos dentro das épocas.

**TABELA 2** Valores médios de produção de massa total, de massa de folhas, de massa de hastes, densidade volumétrica de folhas e hastes

Módulos	Massa total	Massa de folhas	Massa de hastes	Densidade* folhas	Densidade hastes	Oferta de forragem
	kg MS ha <sup>-1</sup>			kg cm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>		%
época das águas						
Convencional	4,536a	3,788a	748a	79a	14a	8,74a
ILP	3,671a	3,208a	463b	84a	11a	10,69a
época seca						
Convencional	5,568a	4,539a	1,029a	17b	18a	12,65b
ILP	4,474a	3,607a	867b	54a	16a	20,81a

\* densidade volumétrica dada pela relação da quantidade de folhas e altura da forragem. Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de t (LSD) à 5% de probabilidade.

A massa de hastes foi maior no módulo convencional em ambas as épocas, demonstrando uma estrutura de pasto de qualidade inferior, com maior quantidade de hastes. Na época seca, a densidade de folhas, no módulo ILP foi

maior indicando um melhor estado desta pastagem, em termos de quantidade de folhas. Isso, certamente, reflete no sistema radicular da pastagem e, em decorrência, a estrutura do solo pode sofrer alguma modificação. Este comportamento também teve reflexo na oferta de forragem que, na época das águas não apresentou diferença significativa e, na época seca, observou-se maior valor no módulo ILP. Embora não tenha se detectado diferenças significativas na época das águas, o módulo ILP apresentou valor superior de oferta de forragem, ou seja, esta área era menos exposta ao pisoteio animal que o módulo convencional, este fato pode ter sido devido a adubação nitrogenada realizada nesse módulo.

A condição do pasto, relacionada a sua qualidade, em termos de quantidade de folhas e hastes, bem como, características de hábito de crescimento da forrageira e capacidade de produzir boa cobertura vegetal pode exercer algum tipo de influência sobre a qualidade física do solo em diferentes situações de manejo, bem como de épocas do ano. Conforme os dados constantes na Tabela 2, alguns resultados relativos ao comportamento dos atributos físicos do solo foram explicados baseados nesses valores, como será discutido em outras sessões.

Conforme análise de variância, não foi observado efeito significativo para as três condições do pasto em pré-pastejo, nas duas épocas avaliadas, sobre os atributos físicos do solo, avaliados após o pastejo, nas diferentes profundidades. Sendo assim, as referidas avaliações foram agrupadas para análise estatística, considerando-se a condição média do pasto.

#### **4.2 Comportamento dos atributos físicos do solo**

Os dados apresentados na Tabela 3, referem-se às avaliações dos atributos físicos do solo realizadas na época seca. Alterações significativas são observadas com maior frequência no módulo convencional, do período pré para o pós-pastejo. Em todas as profundidades constata-se incremento nos valores de densidade do solo e diminuição nos valores de volume total de poros, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica saturada do solo. Siqueira Filho (2005) encontrou diferença significativa do tratamento com pastejo em relação ao não pastejado. Esse resultado era esperado em função da presença dos animais e pelo preparo inicial do solo (convencional). O módulo convencional com manejo menos intensivo, em relação à adubação nitrogenada, apresenta pastagem menos vigorosa, refletindo em menor proteção ao solo, confirmado pelo comportamento dos dados observados na Tabela 2.

**TABELA 3** Valores médios dos atributos físicos do solo avaliados pré e pós-pastejo, na época seca, nos diferentes módulos e profundidades

Atributos	Profundidades (cm)	Módulo convencional		Módulo ILP	
		pré-pastejo	pós-pastejo	pré-pastejo	pós-pastejo
<b>Ds</b> (g cm <sup>-3</sup> )	0-5	0,95 bA	1,01 aA	1,01aA	0,99 aA
	5-10	0,89 bB	0,96 aB	0,92 aB	0,93 aB
	10-20	0,87 bB	0,94 aB	0,91aB	0,91 aB
<b>VTP</b> (%)	0-5	63,80 aB	58,87 bB	58,33 aB	58,47 aB
	5-10	68,80 aA	62,33 bA	66,00 aA	64,15 aA
	10-20	69,27 aA	62,93 bA	66,13 aA	65,80 aA
<b>MACRO</b> (%)	0-5	22,40 aB	18,33 bB	17,40 aB	14,06 bC
	5-10	27,27 aA	22,07 bA	25,93 aA	19,55 bB
	10-20	26,67 aA	21,73 bA	25,93 aA	23,13 aA
<b>MICRO</b> (%)	0-5	41,40 aA	44,40 bA	40,06 aA	40,53 aA
	5-10	41,53 aA	44,60 bA	40,20 aA	40,27 aA
	10-20	42,60 aA	42,67 aA	40,93 aA	41,20 aA
<b>DMG</b> (mm)	0-5	3,11 aA	3,18 aA	3,06 aA	2,78 aA
	5-10	3,24 aA	3,51aAB	2,97 aA	3,22 aA
	10-20	3,23 aA	3,80 aB	3,32 aA	3,28 aA
<b>Ks</b> (mm h <sup>-1</sup> )	0-5	72,00 aB	25,20 bA	39,60 aB	28,80 aB
	5-10	79,20 aB	25,20 bA	72,00 aA	46,80 bA
	10-20	100,80 aA	32,40 bA	68,40 aA	36,00 bAB

Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MACRO: macroporos; MICRO: microporos; DMG: diâmetro médio geométrico; Ks: permeabilidade. Letras minúsculas iguais na linha, dentro dos módulos, e maiúsculas, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste t (LSD) e Tukey, a 5% de probabilidade, respectivamente.

No módulo ILP, logo após a saída dos animais, não houve diferença entre as médias de densidade do solo nos diferentes períodos avaliados, ou seja, eventuais danos ocorridos nos atributos físicos do solo, durante o período de pastejo, foram recuperados ainda neste período.

Observa-se na Tabela 3 que a intensidade de alteração dos atributos físicos diminui com a profundidade de amostragem. Relativamente à densidade do solo observa-se diminuição de seus valores da camada superficial para as subsuperficiais e estas últimas não diferiram entre si. Para as variáveis VTP, MACRO e Ks, constatou-se comportamento inverso ao da Ds, seus valores aumentam da camada 0-5 cm para as demais, confirmando o fato de que a camada superficial é a mais afetada pelo pisoteio animal.

Na época das águas, observou-se que a Ds, na camada 5-10 cm, no módulo convencional e nas camadas 5-10 cm e 10-20 cm, no ILP, aumentou do pré para o pós-pastejo (Tabela 4). As variáveis VTP, MACRO e Ks também tiveram este comportamento, relacionado ao aspecto profundidade, no entanto, seus valores diminuíram do período pré-pastejo em relação ao pós-pastejo. A microporosidade e o diâmetro médio geométrico, de maneira geral, não sofreram alterações em seus valores médios.

**TABELA 4** Valores médios dos atributos físicos do solo avaliados pré e pós-pastejo, na época das águas, nos diferentes módulos e profundidades

Atributo	Profundidade (cm)	Módulo convencional		Módulo ILP	
		pré-pastejo	pós-pastejo	pré-pastejo	pós-pastejo
<b>Ds</b> (g cm <sup>-3</sup> )	0-5	0,91 aA	0,92 aA	0,93 aA	0,92 aB
	5-10	0,88 bA	0,94 aA	0,89 bA	0,98 aA
	10-20	0,87 aA	0,89 aB	0,83 bB	0,98 aA
<b>VTP</b> (%)	0-5	65,13 aA	66,24 aA	65,39 aB	65,79 aA
	5-10	68,77 aA	64,82 bA	67,47 a AB	61,08 bB
	10-20	66,55 aA	67,99 aA	70,90 aA	59,00 bB
<b>MACRO</b> (%)	0-5	19,40 bB	24,03 aA	20,61 aC	20,12 aA
	5-10	23,08 aA	24,97 aA	24,32 aB	16,89 bB
	10-20	21,96 bAB	26,55 aA	28,63 aA	16,80 bB
<b>MICRO</b> (%)	0-5	45,72 aA	45,67 aA	44,78 a	42,21 bA
	5-10	45,69 aA	44,19 aAB	43,16 a	39,85 bB
	10-20	44,60 aA	42,20 bB	42,27 a	41,44 aAB
<b>DMG</b> (mm)	0-5	3,41 aA	3,23 aA	3,19 bB	3,92 aA
	5-10	3,45 aA	3,85 aA	3,42 aAB	3,40 aA
	10-20	3,60 aA	3,78 aA	4,00 aA	3,43 aA
<b>Ks</b> (mm h <sup>-1</sup> )	0-5	118,80 a	36,00 b	115,20 a	104,40 a
	5-10	104,40 a	57,60 b	147,60 a	100,80 a
	10-20	126,00 a	75,60 b	122,40 a	111,60 a

Ds: densidade do solo; VTP: volume total de poros; MACRO: macroporos; MICRO: microporos; DMG: diâmetro médio geométrico; Ks: permeabilidade. Letras minúsculas iguais na linha, dentro dos módulos, não diferem entre si, pelo teste t (LSD) à 5% de probabilidade.

Para o módulo convencional, no período anterior ao pastejo, todos os atributos físicos avaliados, exceto a macroporosidade, mantiveram-se constantes ao longo das profundidades avaliadas (Tabela 4). Na avaliação realizada após a saída dos animais, as variáveis volume total de poros, macroporos e diâmetro médio geométrico permaneceram inalteradas em profundidade. No módulo integração lavoura-pecuária, para o período pré-pastejo, a densidade do solo e o

diâmetro médio geométrico, na camada 10-20 cm, foram menores que nas duas camadas superiores; volume total de poros e a macroporosidade aumentaram em profundidade. No período pós-pastejo, a densidade do solo aumentou da camada 0-5 cm, em relação às demais e VTP, MACRO e MICRO tiveram seus valores reduzidos ao longo do perfil avaliado. Para DMG, não houve diferença nos seus valores entre as camadas e, para variável  $K_s$ , não observou-se efeito significativo.

Sistemas de produção que podem levar à compactação do solo, como plantio direto e integração lavoura pecuária (com alta lotação animal/ha), fazem com que ocorra aumento na densidade e conseqüente redução da porosidade, principalmente macroporosidade ou porosidade de aeração (poros maiores que 50  $\mu\text{m}$ ).

Para as condições de realização desse estudo, não se verificaram, nos períodos avaliados, valores de  $D_s$ , VTP e MACRO que afetassem negativamente o desenvolvimento vegetal, imediatamente após a saída dos animais das áreas, ou seja, verificou-se que durante o período de pastejo de 68 dias na época seca e de 28 dias nas águas, apesar das elevadas taxas de lotação instantâneas, de 3,45 e 5,67 UA ha<sup>-1</sup> na época seca, para os módulos convencional e ILP, respectivamente; e nas águas igual à 5,78 e 7,07 UA ha<sup>-1</sup> para os módulos convencional e ILP, respectivamente, eventuais danos ocorridos nos atributos físicos do solo foram completamente recuperados. Sistemas de produção a pasto bem manejados e em sistemas de integração lavoura-pecuária, a presença de raízes de gramíneas melhoram a estrutura do solo, amenizando o impacto do pisoteio (Albuquerque et al., 2001).

Para a densidade do solo, observou-se, conforme dados da Tabela 1A, nos Anexos, efeito significativo da interação tripla (profundidade x módulos x época). A densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) é considerada um dos atributos físicos

mais importantes na determinação da compactação do solo, pois é facilmente alterada conforme o tipo de uso a que ele é submetido.

As épocas de coletas foram determinadas devido à influência que exercem sobre o teor de umidade do solo. Este é um fator que facilita ou não os processos de deformação da estrutura do solo relacionados ao volume de vazios e à massa seca de solo. De maneira contrária ao esperado, para os dois sistemas de manejo, na época seca se obtêm maiores valores de densidade do solo na camada superficial (Tabela 5). Comportamento contrário foi observado na época das águas. Na sequência cronológica do experimento, a época seca foi avaliada primeiro; os resultados encontrados podem indicar um efeito residual do ciclo de pastejo anterior ao período experimental. Este fato também poderia estar relacionado à renovação intensa do sistema radicular devido às chuvas, expandindo o volume de solo, com diminuição da densidade do solo no módulo ILP por exemplo.

**TABELA 5** Valores médios de densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ ) nos diferentes módulos, épocas e profundidades

Atributo	Profundidade (cm)	ILP		Convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
Ds	0-5	1,01 aA $\alpha$	0,92 aB $\alpha$	0,99 aA $\alpha$	0,92 bB $\alpha$
	5-10	0,96 bA $\alpha$	0,94 aA $\alpha$	0,93 bA $\beta$	0,98 aB $\alpha$
	10-20	0,94 bA $\alpha$	0,89 aA $\beta$	0,91 bB $\alpha$	0,98 aA $\alpha$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras gregas iguais, em colunas alternadas, não diferem entre si, pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

Pode-se afirmar ainda que o pisoteio animal exerce maior influência na camada 0-5 cm, havendo, então, um decréscimo da difusão do impacto recebido na camada superficial para as subsuperficiais, principalmente em condições de baixa umidade do solo. Carvalho (1976) verificou que elevadas taxas de lotação animal por pouco tempo podem ser suficientes para provocar aumento da densidade do solo e influir nos demais atributos físicos; entretanto, depois de cessado o pisoteio, ocorreria regeneração da estrutura do solo.

Nas duas épocas, na camada 0-5 cm, não houve diferença significativa entre os módulos. Nas outras duas camadas subsuperficiais, a densidade do solo foi menor no módulo ILP. Este módulo, mesmo sendo mais utilizado, sofre menor impacto neste atributo físico que o outro, no entanto, este fato pode ser devido ao manejo adequado da forragem (adubação nitrogenada), que tem como característica funcional manter e ou proteger a estrutura do solo.

Vale ressaltar que os valores de densidade do solo encontrados em ambos os módulos e nas diferentes épocas e profundidades apresentaram valores baixos, conforme Arshad et al. (1996), que não comprometeriam o desenvolvimento radicular da grande maioria das espécies vegetais exploradas economicamente.

A densidade do solo pode ter apresentado este comportamento em virtude destes solos estarem sendo utilizados por pastagens, com níveis de oferta de forragem variando de 12% a 20%, na época seca, para os módulos convencional e ILP, respectivamente e de 9% à 11%, na época das águas, para os módulos convencional e ILP, respectivamente. Esse comportamento era previsto, pois, neste período, o solo apresentava umidade média de 18%, valor este considerado abaixo do ponto de murcha permanente deste solo, conforme observação da curva característica de retenção de água (Figura 1A, Anexos). A baixa umidade no solo suaviza alterações nos atributos físicos que relacionam

massa e volume de solo. A umidade do solo é o fator mais importante que determina a amplitude de deformação que pode ocorrer no solo quando alguma pressão é aplicada, favorecendo o deslocamento e o rearranjo das mesmas para posições de maior proximidade, aumentando a densidade do solo.

A porosidade total do solo, ou volume total de poros, apresentou efeito significativo para a interação tripla (profundidade, módulo e época), da mesma forma que a densidade do solo, conforme Tabela 2A, Anexo. O atributo volume total de poros em relação à densidade do solo parece ter sido mais sensível às variações de umidade, ocasionadas pelo efeito de épocas.

Como se pode observar por meio dos dados da Tabela 6, no módulo convencional, na época seca, houve um aumento da porosidade ao longo do perfil avaliado; comportamento oposto foi observado nas águas. Nesta época, vários fatores, como precipitação, luminosidade e temperatura favorecem o desenvolvimento das plantas e de suas raízes, o que, conseqüentemente, altera a estrutura física do solo. O comportamento observado na época seca pode ser devido às taxas de lotação aplicadas anteriormente, bem como ao tempo de permanência dos animais na área. Para o módulo ILP, nas duas épocas de amostragem, não observaram-se diferenças significativas entre as profundidades, indicando uma homogeneidade da porosidade ao longo do perfil estudado.

**TABELA 6** Valores médios de volume total de poros, em %, em função dos módulos, das profundidades de coleta e das épocas de amostragem

Atributo	Profundidade (cm)	ILP		Convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
VTP	0-5	58,87 aB $\alpha$	66,24 aA $\alpha$	58,47 bB $\alpha$	65,79 aA $\alpha$
	5-10	62,33 aA $\alpha$	64,82 aA $\alpha$	64,15 aA $\alpha$	61,08 bA $\alpha$
	10-20	62,93 aB $\alpha$	67,99 aA $\alpha$	65,80 aA $\alpha$	59,00 bB $\beta$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras gregas iguais, em colunas alternadas, não diferem entre si pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

Ao realizar a comparação entre épocas, na camada 0-5 cm, a porosidade é maior nas águas, nos dois módulos. Para as outras camadas avaliadas não houve diferença significativa, como era esperado, pois os efeitos são mais pronunciados na faixa dos 7,5 cm superficiais.

Nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm não foram observadas diferenças significativas entre o volume total de poros, na época seca, para os diferentes módulos; o mesmo ocorreu para época das águas. Na camada 10-20 cm, para a avaliação realizada na época seca, também não foram encontradas diferenças significativas e, para a época das águas, o volume total de poros foi maior no módulo ILP em relação ao convencional. De maneira geral, observou-se uma homogeneidade nos valores de VTP nas condições estudadas.

As variações de porosidade observadas podem também estar relacionadas às flutuações dos conteúdos de MO (Balbino et al., 2001). Os processos de regulação das estruturas e da macroporosidade são modificados pela fauna de invertebrados. Esses efeitos não são observados em pastagens em declínio ou de baixa capacidade produtiva. Em ambientes manejados de forma

mais intensiva e controlada, as estruturas tornam-se novamente favoráveis ao enraizamento (Fregonezi et al., 2001).

Em trabalhos realizados com solo cultivado e mata nativa, Araujo et al. (2004) constatou que os valores de macroporos e de porosidade total do solo foram significativamente menores no solo cultivado em comparação com os do solo sob mata nativa. Em relação aos microporos, este mesmo autor não encontrou diferença significativa entre os dois sistemas estudados.

Outra forma de avaliar a qualidade estrutural do solo é pela distribuição de poros por tamanho. À medida que a microporosidade do solo é reduzida, a reserva de água disponível decresce rapidamente. Sob esse aspecto, a ocorrência dos veranicos é fator determinante para o declínio da produtividade, pois o volume de reserva de água disponível para a planta torna-se relativamente pequeno nesse tipo de solo (Brunet et al., 2002).

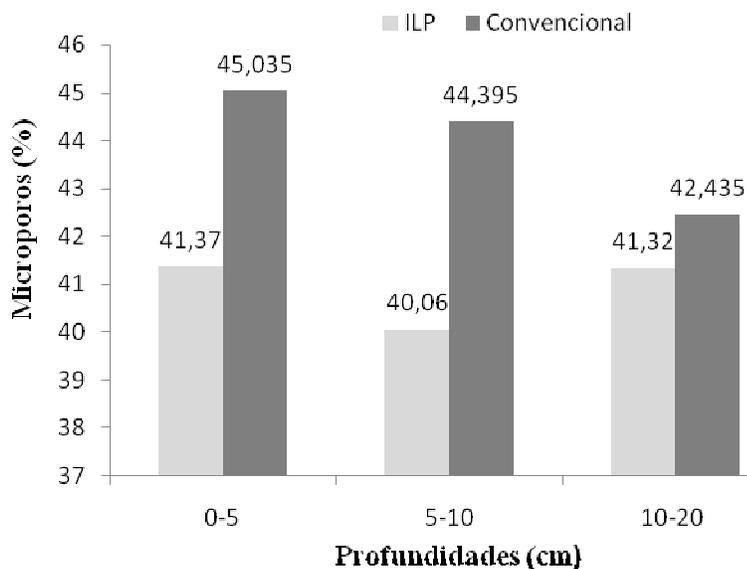
Para a microporosidade, foram observados efeitos significativos de módulos e da interação profundidade e módulo (Tabela 4A, Anexos). Pelos dados da Tabela 7 observa-se que o módulo convencional apresentou valores superiores ao ILP. Como consequência, comportamento oposto foi observado para macroporosidade. No geral, este atributo foi 27% maior no módulo ILP. O volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado pela pressão mecânica exercida sobre o solo, resultando num aumento menos acentuado do volume de microporos e na diminuição também pouco expressiva do volume total de poros (Baver et al., 1972). Assim, em termos de porosidade, os macroporos são os primeiros e mais intensamente afetados pela pressão mecânica exercida sobre o solo. Não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades, nem entre épocas, dentro de cada módulo.

**TABELA 7** Valores médios de microporosidade (%) nos diferentes módulos, épocas e profundidades

Atributo	Profundidade (cm)	ILP		Convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
MICRO	0-5	40,53 aA	42,21 aA	44,40 aA	45,67 aA
	5-10	40,27 aA	39,85 aA	44,60 aA	44,19 aA
	10-20	41,20 aA	41,44 aA	42,67 aA	42,20 aA
		40,67 A	41,17 A	43,89 A	44,02 A
		40,92B		43,96A	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

Pode-se observar, pelos dados da Tabela 7, que não houve efeito de época dentro dos módulos. Dessa forma, na área formada pela integração lavoura-pecuária, não houve diferença significativa entre as médias de microporos nas profundidades e no módulo convencional observou-se um decréscimo ( $P < 0,05$ ) em profundidade, como pode ser visto na Figura 2. Isso ocorre devido ao aumento da macroporosidade. A microporosidade é considerada um atributo menos sensível às práticas de manejo a que os solos são submetidos; normalmente, ela não sofre muita alteração em seus valores.



**FIGURA 2** Valores médios de microporosidade (%) do solo nos diferentes módulos e profundidades estudadas

De acordo com Spera et al. (2004), não foram encontradas, em Latossolo Vermelho distrófico típico, diferenças entre os valores de microporosidade nos sistemas de culturas anuais e de pastagens perenes, evidenciando que, em sistemas bem manejados, o pisoteio animal, em lotação adequada, não promove alterações adicionais neste atributo do solo.

Para a macroporosidade foi observado efeito significativo da interação tripla (módulo, época e profundidade), assim como ocorreu para as variáveis volume total de poros e densidade do solo. Estes atributos são interdependentes, ou seja, a modificação de um deles leva à alteração dos demais.

De acordo com os dados da Tabela 7, nas águas também não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades e, na seca, houve aumento da macroporosidade da camada superficial em relação às

subsuperficiais, confirmando novamente a maior susceptibilidade às alterações na estrutura física do solo nesta camada. Isso ocorreu devido ao aumento da densidade na camada 0-5 cm, diminuindo a macroporosidade. Este comportamento pode ter ocorrido devido ao pisoteio animal ocorrido na área anteriormente ao período experimental. Mas, com a renovação do sistema radicular das gramíneas, que ocorre na época das águas, há uma regeneração da estrutura do solo, a macroporosidade aumenta e permanece constante ao longo das camadas avaliadas.

**TABELA 8** Valores médios de macroporos (%) nos diferentes módulos, épocas e profundidades

Atributo	profundidade (cm)	Módulo ILP		Módulo convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
MACRO	0-5	18,33 bB $\alpha$	24,03 aA $\alpha$	14,06 cB $\beta$	20,12 aA $\beta$
	5-10	22,07 aA $\alpha$	24,97 aA $\alpha$	19,55 bA $\alpha$	16,89 bB $\beta$
	10-20	21,73 aB $\alpha$	26,55 aA $\alpha$	23,13 aA $\alpha$	16,80 bB $\beta$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras gregas iguais, em colunas alternadas, não diferem entre si, pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

Para o módulo ILP, observam-se menores valores de macroporos na época seca em relação à época das águas. Ao mesmo tempo, a  $D_s$  ( $\text{g cm}^{-3}$ ) foi menor neste módulo e nesta época. Como já explicado, isso ocorreu devido à presença de forragem de melhor qualidade, devido à adubação nitrogenada, refletindo em maior densidade de folhas, diminuindo o impacto do pisoteio animal. No módulo convencional, observou-se comportamento oposto para as camadas subsuperficiais. Na camada superficial, nas duas épocas avaliadas, a

macroporosidade foi maior no módulo ILP, para as camadas subsuperficiais; na seca, não houve diferença significativa e, na época das águas, o módulo ILP apresentou valores de macroporosidade superiores em relação ao módulo convencional. A macroporosidade, juntamente com volume total de poros e a densidade do solo são os atributos físicos do solo mais susceptíveis às alterações impostas pela ação antrópica, este fato também foi observado neste estudo.

Para a variável estabilidade de agregados avaliada por meio do diâmetro médio geométrico, observou-se efeito significativo da interação tripla entre módulo, época e profundidade (Tabela 5A, Anexos). Nos dois módulos, não foram observadas diferenças significativas entre as profundidades. Este comportamento era esperado em virtude da baixa umidade do solo durante a realização da amostragem, que ocorreu na época seca. Na época das águas, para o módulo ILP, o diâmetro médio geométrico foi maior na camada 0-5 cm, em relação às duas camadas subsuperficiais e, no convencional, observou-se comportamento oposto. Isso pode ter ocorrido devido ao melhor desenvolvimento da forragem no módulo ILP em relação ao convencional, refletindo de maneira rápida na estrutura do solo.

**TABELA 9** Valores médios do diâmetro médio geométrico (DMG) em mm, nos diferentes módulos, épocas e profundidades

Atributo	Profundidade (cm)	Módulo ILP		Módulo convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
DMG	0-5	2,82 aB $\alpha$	3,92 aA $\alpha$	3,18 aA $\alpha$	3,23 bA $\beta$
	5-10	3,22 aA $\alpha$	3,40 bA $\alpha$	3,51 aA $\alpha$	3,85 aA $\alpha$
	10-20	3,28 aA $\beta$	3,43 bA $\alpha$	3,80 aA $\alpha$	3,78 aA $\alpha$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras gregas iguais, em colunas alternadas, não diferem entre si pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

Na camada superficial, para a época da seca, não foram detectadas diferenças significativas entre os módulos e, na época das águas, o módulo ILP apresentou diâmetro médio geométrico superior ao do módulo convencional (Tabela 9). Na camada intermediária, não houve diferença significativa entre as situações estudadas e, para a camada 10-20 cm, na época seca, DMG foi menor no módulo ILP; na época das águas não houve diferença estatística.

O diâmetro médio geométrico dos agregados apresenta um acréscimo do período seco para o chuvoso. Isso pode ser um indicativo da evolução natural dos sistemas, visto que as coletas obtidas durante o período seco foram anteriores às amostragens realizadas na época chuvosa.

Em trabalhos conduzidos por Alvarenga & Davide (1999) e D'Andréa et al. (2002), foram observadas reduções na estabilidade de agregados em sistemas revolvidos, em função das técnicas de manejo e, principalmente, do tempo de utilização. Este último autor observou redução do DMG, de 4,55 mm para 2,71 mm, entre os sistemas cerrado nativo e o cultivo convencional de milho e soja com 15 anos de uso.

No presente trabalho, os valores do diâmetro médio geométrico dos agregados estão abaixo de 4,00 mm e uma possível explicação para esta constatação pode estar relacionada ao fato de que esta área estaria passando por uma fase de estabilização da sua estrutura em relação à condição natural. Além do manejo, a agregação do solo também está associada à sua textura (Bronick & Lal, 2005). Salton et al. (2008) verificaram maiores e menores valores de diâmetro médio ponderado, em solos, cujos teores de argila eram, respectivamente, 540 e 360 g kg<sup>-1</sup> de argila.

Salton et al. (2008) concluíram, em trabalho sobre agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários, que sistemas de

manejo do solo com pastagem permanente ou em rotação com lavoura em plantio direto favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com lavouras ou com lavouras em rotação com pastagens em ciclos maiores que três anos.

A estabilidade dos agregados pode ser aumentada, em situações de não revolvimento do solo e constante fornecimento de matéria orgânica (Marchão 2007). Estas circunstâncias são encontradas em pastagens manejadas adequadamente.

Para a condutividade hidráulica saturada do solo, a interação tripla entre módulo, época e profundidade foi significativa (Tabela 6A, em anexo). A condutividade hidráulica saturada do solo devido à sua importância em informar sobre a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo deve ser bem caracterizada, pois, de modo geral, seu valor é usado nos cálculos de fluxos no solo.

Nos dois módulos, a condutividade hidráulica foi maior na época das águas (Tabela 10). Como já discutido anteriormente, neste período, o sistema radicular das plantas passa por um processo de regeneração, favorecido por inúmeros fatores. Como resultado, há uma reestruturação do solo, aumentando a condutividade hidráulica saturada. Sabe-se que a geometria e a continuidade dos poros preenchidos com água determinam a condutividade hidráulica saturada de um solo, tornando-se dependente, portanto, da forma, quantidade, distribuição e continuidade dos mesmos.

Na época das águas,  $K_s$  foi maior no módulo ILP; comportamento semelhante foi observado para volume total de poros e macroporosidade e o oposto ocorreu para densidade do solo. Na época seca, não houve diferença significativa entre os módulos, como era esperado

**TABELA 10** Valores médios de condutividade hidráulica saturada (Ks) em  $\text{mm h}^{-1}$  nos diferentes módulos, épocas e profundidades

Atributo	Profundidade (cm)	Módulo ILP		Módulo convencional	
		Época seca	Época das águas	Época seca	Época das águas
Ks	0-5	28,8 aB $\alpha$	104,4 aA $\alpha$	25,2 aA $\alpha$	36,0 bA $\beta$
	5-10	46,8 aB $\alpha$	100,8 aA $\alpha$	25,2 aA $\alpha$	57,6 bA $\beta$
	10-20	36,0 aB $\alpha$	111,6 aA $\alpha$	32,4 aB $\alpha$	75,6 aA $\beta$

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e, maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey e pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade, respectivamente. Letras gregas iguais, em colunas alternadas, não diferem entre si, pelo teste t (LSD), a 5% de probabilidade.

De maneira geral, os valores de Ks encontrados, na época das águas e da seca, eram considerados moderados e lento a moderados, respectivamente, segundo classificação de Soil Survey Staff (1951), adaptada por Lima et al. (1990). No trabalho realizado por Sousa & Alves (2003), em Latossolo Vermelho distrófico típico, a condutividade hidráulica foi igual à  $190 \text{ mm h}^{-1}$  para o solo sob pastagem, sendo este o menor resultado em comparação aos valores observados para as condições de Cerrado, plantio direto, cultivo mínimo e plantio convencional.

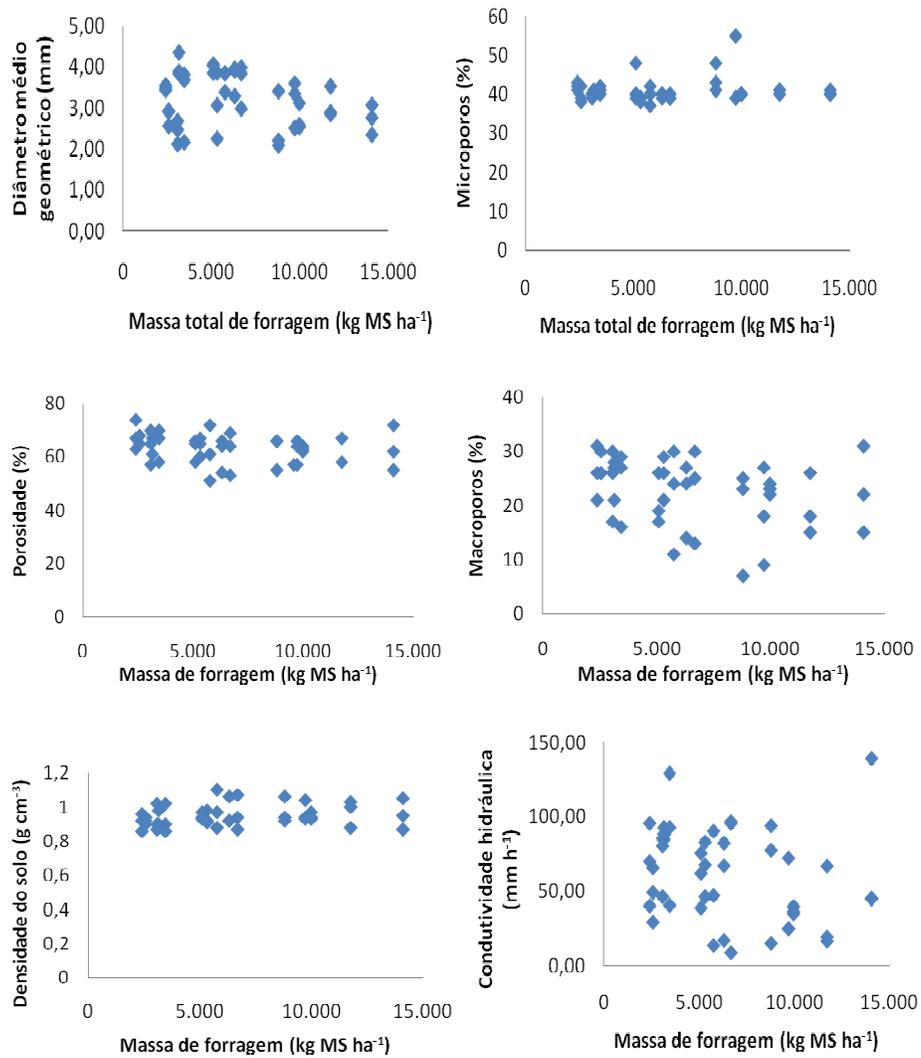
Foram encontrados altos valores de coeficiente de variação para a condutividade hidráulica do solo saturado. Segundo Sarvasi (1994) pode-se atribuir o efeito local aos altos coeficientes de variação proporcionando, desta forma, variações notáveis no comportamento dos sistemas estudados. Arzeno (1990), Castro (1995) e Sarvasi (1994), avaliando a condutividade hidráulica do solo saturado em diferentes sistemas de manejo, também encontraram altos valores de coeficiente de variação. Os autores mencionam que o fato se deve especialmente à alta variabilidade espacial dos solos, típico das propriedades de movimentação tridimensional da água.

Com os distintos usos do solo, a porosidade se modifica. Paralelamente a isso, deve-se modificar também  $K_s$ . A magnitude destas modificações estruturais ocasionadas pelo manejo depende da ocorrência e da frequência das operações de práticas agrícolas superficiais e subsuperficiais no solo e também do efeito compactante produzido pelo trânsito do maquinário agrícola ou de animais. Ademais, morfologia, orientação e tamanho dos sistemas radiculares dos vegetais podem afetar  $K_s$ .

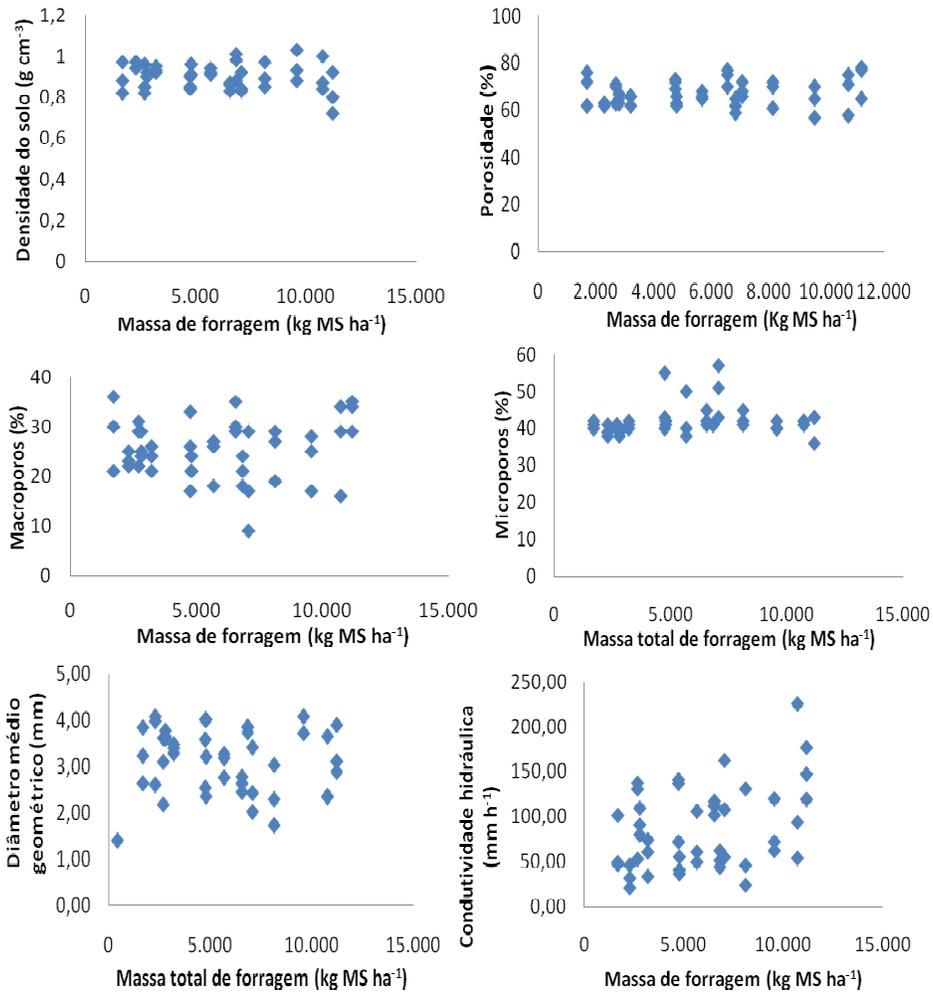
Com base na Tabela 10, embora não tenham ocorrido diferenças significativas, observou-se acréscimo nos valores médios de  $K_s$  em profundidade. Isso certamente ocorre devido ao comportamento dos outros atributos estudados. Conforme Marchão (2007), a condutividade hidráulica pode aumentar rapidamente com a inclusão de pastagens na rotação com culturas, devido à combinação de três efeitos principais: ausência de preparo durante o ciclo da pastagem, presença de um denso sistema radicular, que atua como agente agregante e maior atividade da macrofauna do solo em pastagens. Este processo é rapidamente revertido quando o solo volta a ser preparado.

#### **4.3 Relação entre atributos físicos e produção de forragem**

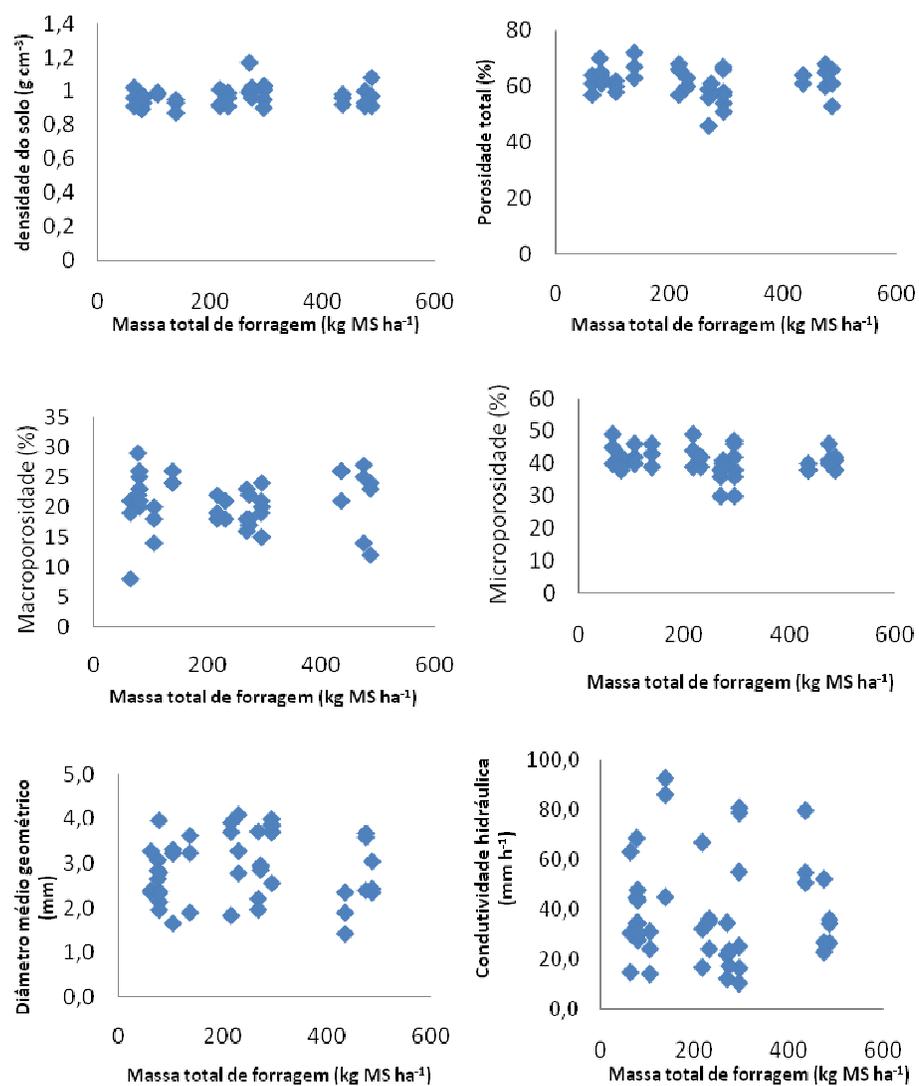
Nas seções anteriores inferiu-se que o vigor da parte aérea da pastagem tem reflexo no seu sistema radicular e, como consequência, a estrutura do solo pode sofrer alguma influência. Todavia, não foi encontrada correlação entre os valores de massa total de forragem, e os valores médios dos atributos físicos avaliados. Gráficos de dispersão foram elaborados para a visualização do comportamento dos atributos físicos avaliados sob as diferentes condições de altura e vigor da forragem, os quais podem ser vistos nas Figuras 3, 4, 5 e 6.



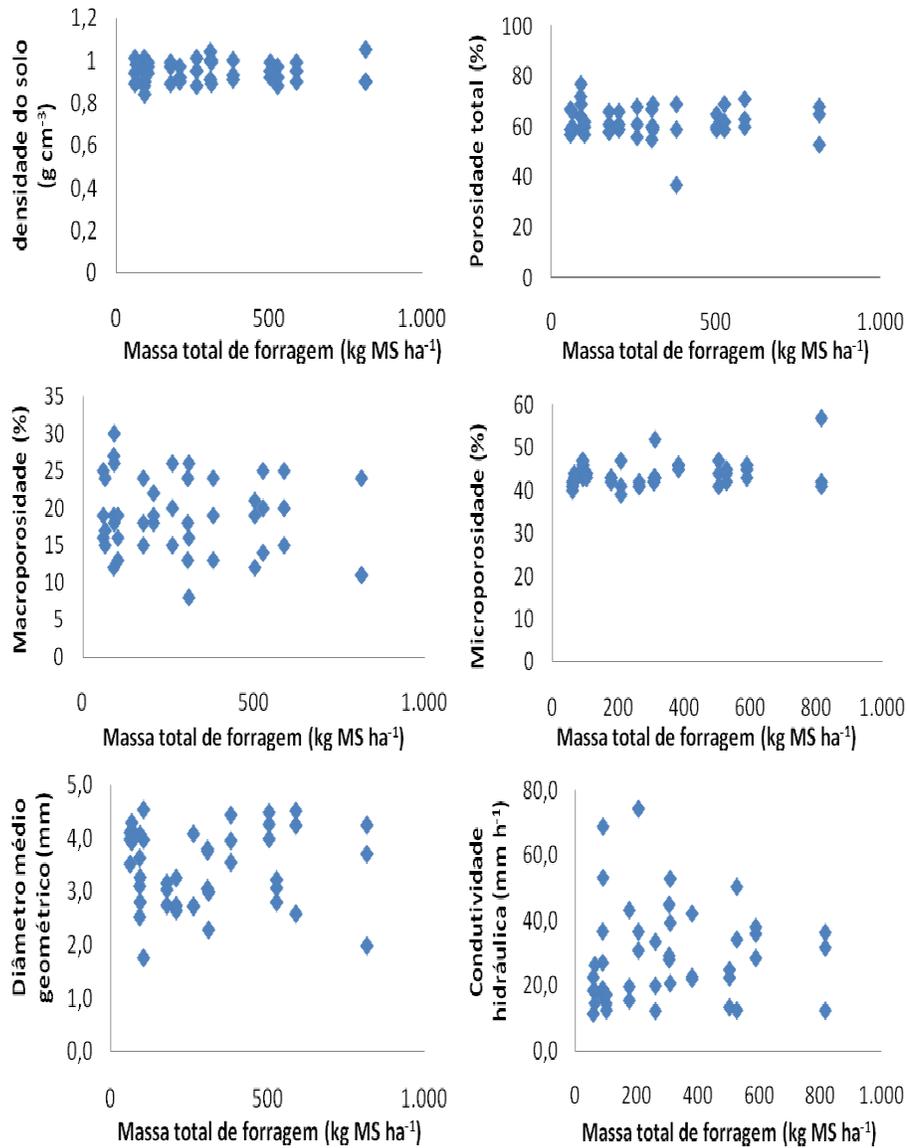
**FIGURA 3** Relação entre massa total de forragem (kg MS ha<sup>-1</sup>) do módulo ILP e os atributos físicos avaliados na época seca



**FIGURA 4** Relação entre massa total de forragem (kg MS ha<sup>-1</sup>) do módulo Convencional e os atributos físicos avaliados na época seca



**FIGURA 5** Relação entre massa total de forragem ( $\text{kg MS ha}^{-1}$ ) do módulo ILP e os atributos físicos avaliados na época das águas



**FIGURA 6** Relação entre massa total de forragem (kg MS ha<sup>-1</sup>) do módulo convencional e os atributos físicos avaliados na época das águas

Bertol et al. (2000), avaliando efeitos do pastejo contínuo, na camada de 0-5 cm, em um Cambissolo álico, constataram altos valores de densidade do solo (1,10 a 1,43 g cm<sup>-3</sup>), especialmente nos tratamentos 4,0% e 8,0% de oferta de forragem, equivalentes às maiores pressões de pastejo. Isso demonstra que elevadas pressões de pastejo podem alterar a estrutura do solo, aumentando sua densidade. Os mesmos autores afirmam, ainda, que o aumento da densidade do solo, causado pela diminuição da oferta de forragem, refletiu no diâmetro médio ponderado dos agregados e na distribuição de tamanho dos poros, porém, neste estudo, não foi verificado se houve impacto sobre a produção de forragem no médio e ou no longo prazo, bem como sobre os efeitos da qualidade estrutural da forragem sobre os atributos físicos avaliados.

As coletas realizadas nas diferentes épocas do ano, considerando a amplitude nos valores de umidade do solo para as situações de seca e das águas, é um importante parâmetro na tomada de decisão em relação a determinadas práticas agrícolas, isso poderia ter reflexo positivo se também fosse considerado naquelas relacionadas à pecuária. Este raciocínio fundamentou a idéia de que épocas do ano (seca e águas) influenciariam a qualidade física de solos sob pastagens.

Apesar dos resultados encontrados no presente trabalho, acredita-se que trabalhos futuros devam ser realizados, com diferentes espécies forrageiras, solos e sistemas de manejo, a fim de elucidar questões continuamente levantadas, referentes às alterações que poderão ocorrer na qualidade física do solo na fase pastagem e seus reflexos na fase de lavouras quando em sistemas de integração.

## 5 CONCLUSÕES

Os atributos físicos do solo foram influenciados pelos diferentes históricos dos módulos estudados, em relação ao tipo de formação dessas pastagens e, principalmente, em virtude do manejo das taxas de lotação e dos períodos de ocupação estabelecidos.

Períodos de pastejo maiores na época seca e curtos na época das águas, em áreas de Cerrado, não comprometeram a qualidade física do solo pelo pisoteio animal, imediatamente após a saída dos animais, ou seja, eventuais danos ocorridos nos atributos físicos do solo foram completamente recuperados nesse mesmo intervalo de tempo.

A variação da umidade do solo em decorrência das épocas (seca e águas) exerceu efeito sobre os atributos físicos. O volume total de poros, a macroporosidade e a condutividade hidráulica foram maiores na época das águas e, na época seca, não houve diferença significativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKKU, L.; WEISSKOPF, P.; CHAMEN, W.C.T.; TIJINK, F.G.J.; LINDEN, J.P. van der; PIRES, S.; SOMMER, C.; SPOOR, G. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. Part I - Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1/2 p. 145-160, Oct. 2003.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 115-119, jan./abr. 1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER M. Efeitos 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, jul/set. 2001.

ALVARENGA, M.I.N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agrossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, out./dez. 1999.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 319-326, maio/ago. 1996.

AMARAL, M. Plantio direto evolui no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 3, 2001.

AMBROSI, I.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; ZOLDAN, S.M. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos combinados com pastagens de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1213-1219, out. 2001.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 139-145, jan./abr. 1994.

ARAUJO, A.M.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar./abr. 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (SSSA. Special Publication, 49).

ARZENO, J.L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um Latossolo Roxo - distrófico**. 1990. 259 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of compaction on soil physical and hydraulic properties: Experimental results modeling. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, n. 2, p. 390-398, Mar./Apr. 1997.

BAETHGEN, W.E. Dinamica del nitrogeno en sistemas de rotacion cultivos-pasturas. **Revista INIA de Investigaciones Agronômicas**, Montevideo, v. 1, n. 1, p. 3-25, 1992.

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M.F. Comportement de la phase argileuse lors de la dessication dans des Ferralsols microagrégés du Brésil: role de la microstructure et de la matière organique. **Comptes Rendus de L'Academie des Sciences A: Science de la Terre et des Planetes**, Paris, v. 332, n. 11, p. 673-680, 2001.

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUÉTIN, P.; GRIMALDI, M. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 2, p. 297-307, jun, 2003.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: evaluation agricultural significance. In: \_\_\_\_\_. **Soil physics**. 4. ed. New York: J.Wiley, 1972. p.178-223.

BELL, M.J.; BRIDGE, B.J.; HARCH, G.R.; ORANGE, D.N. Physical rehabilitation of degraded krasnozems using ley pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 35, n. 5, p.1093-1113, 1997.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 1047-1054, maio 2000.

BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; ZAGO, L.A.; MARASCHIN, G.E. 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, maio 1998.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part. 1. Physical and mineralogical methods. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p.377-382. (Agronomy, 9).

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, Amsterdam, v. 124, n. 1/2, p. 3-22, Jan. 2005.

BROSSARD, M.; BARCELLOS, A.O. Conversão do cerrado em pastagens cultivadas e funcionamento de latossolos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 153-168, jan./abr. 2005.

BRUNET, D.; BROSSARD, M.; BARCELLOS, A. de O. Runoff and particle detachment of a ferralsol under pastures (Cerrado, Brazil). In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok, **Proceedings...** Bangkok, 2002. 4 p. (Paper, n. 855)

CABRAL, J.; KOIDE, S.; SIMÕES, S.J.C.; MONTENEGRO, S. Recursos hídricos subterrâneos. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (Ed.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 237-277.

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

CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 99-104, jan./mar. 1997.

CARVALHO, D.B. **Rendimento de soja em plantio direto sucedendo a pastagem de azevém sob efeito de frequência de uso e adubação fosfatada e**

**nitrogenada**. 2003. 85 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CARVALHO, S.I.C.; VILELA, L.; SPAIN, J.M.; KARIA, C.T. Recuperação de pastagem degradadas de *B. decumbens* cv. Basilik na região dos Cerrados. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 12, n. 2, p. 24-28, ago. 1990.

CARVALHO, S.R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada**. 1976. 89 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CASTRO, O.M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função de seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L)**. 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CHAVES, H.M.L.; ORLOWISK, W.E.; ROLOFF, G. Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 141-147, maio/ago. 1993.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: UFV, 2001. p. 583-624.

COIMBRA C.H.; SOUZA, M.L.P.; MORAES, A. Avaliação do efeito do impacto do animal no solo em áreas de plantio direto envolvidos na integração lavourapecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1996, Maringá. **Anais...** Maringá, 1996. p. 129-150.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, nov. 2006

CONSALTER, M.A.S. **Sistema integrado lavoura pecuária e compactação em latossolo Bruno**. 1998. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CORAZZA, E.J.; BROSSARD, M.; DIAS, C.V. Soil chemical characteristics under low productivity pastures: a contribution to a regional approach in the

Cerrado region. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SOIL FUNCTIONING UNDER PASTURES IN INTERTROPICAL AREAS, 2000, Brasília,.

**Abstracts...** Planaltina: Embrapa Cerrados/IRD/Soil Pasture Project, 2000. 1 CD-ROM.

CORAZZA, E. J.; BROSSARD, M.; OLIVEIRA, A.F. Variabilidade química das camadas superficiais de solos do município de Unaí (MG). In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília,.

**Anais...** Planaltina: SBCS/Embrapa Cerrados, 1999. 1 CD-ROM.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, fev. 1999.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 913-923, out./dez. 2002.

DAVIES, A.; ADAMS, W.A.; WILMAN, D. Soil compaction in permanent pasture and its amelioration by slitting. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 113, n. 2, p. 189-197, Oct. 1989.

DEBARBA, L.; AMADO, T.J.C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 473-480, jul./set. 1997.

DECAËNS, T.; JIMÉNEZ, J.J.; LAVELLE, P. Effect of exclusion of the anecic earthworm *Martiodrilus carimaguensis* Jiménez and Moreno on soil properties and plant growth in grasslands of the eastern plains of Colombia. **Pedobiologia**, Jena, v. 43, n. 6, p. 835-841, Dec. 1999.

DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 41-64, Aug. 2002.

DIAZ ROSSELO, R. Evolución del nitrogênio total em rotações com pasturas. **Revista INIA de Investigaciones Agronômicas**, Montevideo, v. 15, n. 1, p. 27-35, 1992.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo de solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 259-267, maio/ago. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

FERREIRA, D.F. **Sisvar**®. Versão 5.0. (Build 67). Lavras: UFLA, 2005.

FLOWERS, M.D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in Northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1/2, p. 21-35, Sept. 1998.

FRAGA, T.I.; FLORES, C.J.P.; DAL BELO LEITE, J.G.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, F.P.C. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em um sistema de integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo sob semeadura direta. In: CONGRESSO DE SOJA DEL MERCOSUL, 3., 2006, Rosário. **Anais...** Rosario, 2006. p. 631-634

FRANCIS, G.S.; TABLEY, F.J.; WHITE, K.M. Restorative crops for the amelioration of degraded soil conditions in New Zealand. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 37, n. 6, p. 1017-1034, 1999.

FREGONEZI, G.A. de F.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C. Transformações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p.1017-1027, out./dez. 2001.

GENUTCHEN, M.T. van; NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 3, n. 5, p. 615- 628, 1985.

GREACEN, E.L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 18, n. 2, p.163-189, 1980.

GREENLAND, D.J. Changes in the nitrogen status and physical condition of soil under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soil used for growing wheat. **Soils and Fertilizers**, Wallingford, v. 34, p. 235-251, 1971.

HARRISON, D.F.; CAMERON, K.C.; MCLAREN, R.G. Effects of subsoil loosening on soil physical properties, plant root growth, and pasture yield. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 37, n. 4, p. 559-567, 1994.

HART, P.B.S.; AUGUST, J.A.; ROSS, C.W. Some biochemical and physical properties of Tokomaru silt loam under pasture and after 10 years of cereal cropping. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 31, n. 1, p. 77-86, 1988.

HERNANI, L.C.; GUIMARÃES, J.B.R. Efeitos de sistemas de preparo do solo e rotação de culturas em atributos físicos de um Latossolo Roxo. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Temuco. **Resúmenes...** Temuco: Universidad de la Frontera, 1999. CD-ROM.

HORN, R. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 1/2, p.77-88, Sept. 2003.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass short-duration grazing system. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 219, n. 1/2, p. 161-168, Mar. 2000.

KICHEL, A.N.; MIRANDA, C.H.B.; TAMBOSI, S.A. T. Produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: temas em evidência, 1., 2000, Lavras. **Anais...** Lavras, UFLA, 2000. p. 51-68.

KOOL, J.B.; PARKER, J.C.; GENUTCHEN, M.T. van. Parameter estimation for unsaturated flow and transport models: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 91, n. 3/4, p. 255-293, June 1987.

KRZIC, M.; NEWMAN, R.F.; BROERSMA, K.; BOMKE, A.A. Soil compaction of forest plantations in interior British Columbia. **Journal of Range Management**, Lakewood, v. 52, n. 6, p. 671-677, Nov. 1999.

LHOTSKÝ, J.; BERAN, P.; PARIS, P.; VALIGURSKÁ, L. Degradation of soil by increasing compression. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 287-295, Feb. 1991.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada.** 2004. 60 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, jan./abr. 1990.

LUZ, P.H. de C.; HERLING, V.R. Impactos do pastejo sobre as propriedades físicas do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 209 -250.

MACEDO, M.C.M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., Piracicaba, 2001. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2001. p. 257-283.

MACIEL, G.A.; VIANA, P.G.; SOUZA, F.F. de; MIRANDA, A. de A.; MARTHA JUNIOR, G.B.; VILELA, L. Métodos para estimar a produção de capim massai em diferentes épocas do ano e condições do pasto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45., Lavras, 2008. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. CD-ROOM.

MAPFUMO, E.; CHANASYK, D.S.; BARON, V.S.; NAETH, M.A. Grazing impacts on selected soil parameters under short-term forage sequences. **Journal of Range Management**, Lakewood, v. 53, n. 5, p. 466-470, Sept. 2000.

MARCHÃO, R.L. **Integração lavoura-pecuária num latossolo do cerrado:** impacto na física, matéria orgânica e macrofauna. 2007. 153 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JUNIOR, J. de D.G. dos; SÁ, M.A.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p.873-882, jun. 2007.

MARTHA JUNIOR, G.B.; VILELA, L.; MACIEL, G.A. A prática da integração lavoura-pecuária como ferramenta de sustentabilidade econômica na exploração pecuária. In: CONGRESSO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS;

SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 6., 2007, Lavras.  
**Anais...** Lavras: UFLA - Núcleo de Estudos em Forragicultura, 2007. p. 367-391.

MELLA, S.C. Recuperação de pastagens. In: PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Manual técnico do sub-programa de manejo e conservação do Solo**. 2. ed. Curitiba, 1994. Cap. 5, p. 1-14.

MESQUITA, M. da G.B. de F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 953-959, maio/jun. 2004

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**: general synthesis report. Washington: Island Press, 2005. Disponível em: <[http:// www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx](http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx)>. Acessado em: 7 de maio 2007.

MILLER, C.J.; YESILLER, N.; YALDO, K.; MERAYYAN, S. Impact of sSoil type and compaction conditions on soil water characteristic. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, New York, v. 128, n. 9, p.733-742, Sept. 2002.

MOSADDEGHI, M.R.; HAJABBASI, M.A.; HEMMAT, A.; AFYUNI, M. Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 55, n. 1/2, p. 87-97, May 2000.

MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 36, n. 11, p. 1 409-1418, Nov. 2001.

NIE, Z.N.; WARD, G.N.; MICHAEL, A.T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on south-western Victoria. **Australian Journal Agricultural of Soil Research**, Melbourne, v. 52, n. 1, p. 37-43, 2001.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, estabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, n. 1/4, p. 377-400, Mar. 1993.

OLIVEIRA, E.; MEDEIROS, G.B.; MARUN, F.; OLIVEIRA, J.C.; SÁ, J.P.G.; COLOZZI F.O. A.; KRANZ, W.M; SILVA JÚNIOR, N.F.; ABRAHÃO, J.J.S.; GUERINI, V.L.; MARTIN, G.L. **Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná**: bases para o plantio direto e integração lavoura e pecuária. Londrina, IAPAR, 2000. 96 p. (IAPAR. Informe de Pesquisa, 134).

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004.

PANIGATTI, J.L. Las rotaciones agrícolas com pasturas en la pampa úmida de Argentina. **Revista INIA di Investigaciones Agronómicas**, Montevideo, v. 1, n. 2, p. 215-225, 1992.

PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 79-84, May 2004

PORTES, T.A.; CARVALHO, S.I.C. de; OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1349-1358, jul. 2000.

PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R.; EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal Agricultural of Soil Research**, Melbourne, v. 44, n. 2, p. 317-331, 1993.

QUEIROZ, D.S.; FONSECA, D.M. da; MOREIRA, L.de M. Importância do manejo sobre a persistência e a sustentabilidade da pastagem. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 226, p. 54-64, 2005.

RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: a view toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, New York, v. 11, p. 1-35, 1990.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, n. 1/2, p. 131-146, Nov. 2002.

SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.M.; HERNANI, L.C. Integração lavoura-pecuária: alternativas de rotação de culturas. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 5., 2001, Dourados. **Anais...** Dourados: UFMS/Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 31-32. (Documentos, 31).

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FABRÍCIO, A.C.; BROCH, D.L. Avaliação e atributos físicos e químicos do solo e rendimento de grãos na rotação lavoura-pastagem no sistema plantio direto. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., Temuco, 1999. **Suelo, ambiente, vida: resúmenes...** Temuco: Universidad de La Frontera, 1999. CD-ROM

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p.11-21, jan./fev. 2008

SÁNCHEZ-GIRÓN, V.; ANDREU, E.; HERNANZ, J.L. Response of five types of soil to simulated compaction in the form of confined uniaxial compression test. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1/2, p. 37-50, Sept. 1998.

SARVASI, F.O.C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo**. 1994. 161 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SILVA, A.M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2005. 136 p.

SILVA, E.M. da. **Analysis of furrow irrigation uniformity as affected by furrow spacing**. 1990. 449 p. Thesis (Ph.D.) - University of Arizona, Tucson,

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1487-1494, out. 2002.

SILVA, E.M. da; LIMA, J.E.F.W.; AZEVEDO, J.A. de; RODRIGUES, L.N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solo do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 323-330, fev. 2006.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, jan./mar. 1997.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 311-317, abr./jun. 1998.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S. Respostas fisiológicas da soja ao déficit hídrico em dois solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 5, p. 669-675, set./out. 1981.

SILVA, R.R.; SILVA, M.LN.; FERREIRA, M.M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, jul./ago. 2005.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. 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, jan./mar. 2000.

SIQUEIRA JUNIOR, L.A. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira**. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SOANE, B.D. Process of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A.; CUMMINGS, R.W. (Ed.). **Land clearing and development in the tropics**. Rotterdam: Balkema Publishing., 1986. p. 265-297.

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

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, p. 18-23, 2003.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: U.S. Government Printing Office, 1951. 503 p. (U.S. Department of Agriculture. Handbook, n. 18).

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 533-542, maio/jun. 2004.

VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 163-179.

VIGLIZZO, E. El rol de la alfalfa en los sistemas de producción. In: HIJANO, E.H.; NAVARRO, A. (Ed.). **La alfalfa en la Argentina**. Cuyo: INTA, 1995. p. 259-272. (Manuales, 11).

WHITE, D.H.; ELLIOT, B.R.; SHARKEY, M.J.; REEVES, T.G. Efficiency of land-use systems involving crops and pastures. **The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science**, Sydney, v. 44, p. 21-27, 1978.

WILLIAMS, M.J.; KALMBACHER, R.S. Renovation effects on bahiagrass productivity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 2, p. 191-198, Mar./Apr. 1996.

WISNIEWSKI, C; HOLTZ, G.P. Decomposição da palhada e liberação do nitrogênio e fósforo numa rotação aveia-soja sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 11, p. 1191-1197, Nov. 1997.

WRIGHT, A.L.; HONS, F.M. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 67-75, Nov. 2005.

## ANEXOS

ANEXO A		Pág.
<b>Tabela 1A</b>	Resumo da análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks), no período pós-pastejo.....	69
<b>Tabela 2A</b>	Resumo da análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks), na época das águas.....	70
<b>Tabela 3A</b>	Análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks), na época seca.....	71
<b>Figura 1A</b>	Curvas de retenção de água do solo nas diferentes profundidades.....	72

**TABELA 1A** Análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks), no período pós-pastejo.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio					
		Ds	VTP	MACRO	MICRO	DMG	Ks
Módulo (M)	1	0,0082ns	98,8320ns	919,4281*	415,3711*	2,1071*	0,0030*
Época (E)	1	0,0127ns	191,7817*	137,5555*	4,4949ns	3,9540*	0,0080*
M x E	1	0,0532*	381,0013*	334,3256*	1,5244ns	1,4159*	0,0013*
Erro (a)	56	0,0040	42,0167	30,3397	13,9830	0,4753	0,0002
Profundidade (P)	2	0,0173*	38,1305ns	129,2622*	28,2943ns	1,3321ns	0,0002*
P x M	2	0,0050ns	29,1093ns	6,7764	43,3123*	1,6397*	0,0000ns
P x E	2	0,0404*	315,2832*	194,5394*	15,3725ns	1,0410ns	0,0000ns
P x M x E	2	0,0105*	130,8183*	124,0791*	0,4730ns	1,4951*	0,0003*
Erro (b)	112	0,0030	31,1562	18,6563	13,8896	0,4738	0,0000
CV 1 (%)		6,74	10,27	26,62	8,81	19,96	6,74
CV 2 (%)		5,82	8,84	20,88	8,78	19,93	5,82

\*(P<0,05); ns-não significativo.

**TABELA 2A** Análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks) na época das águas.

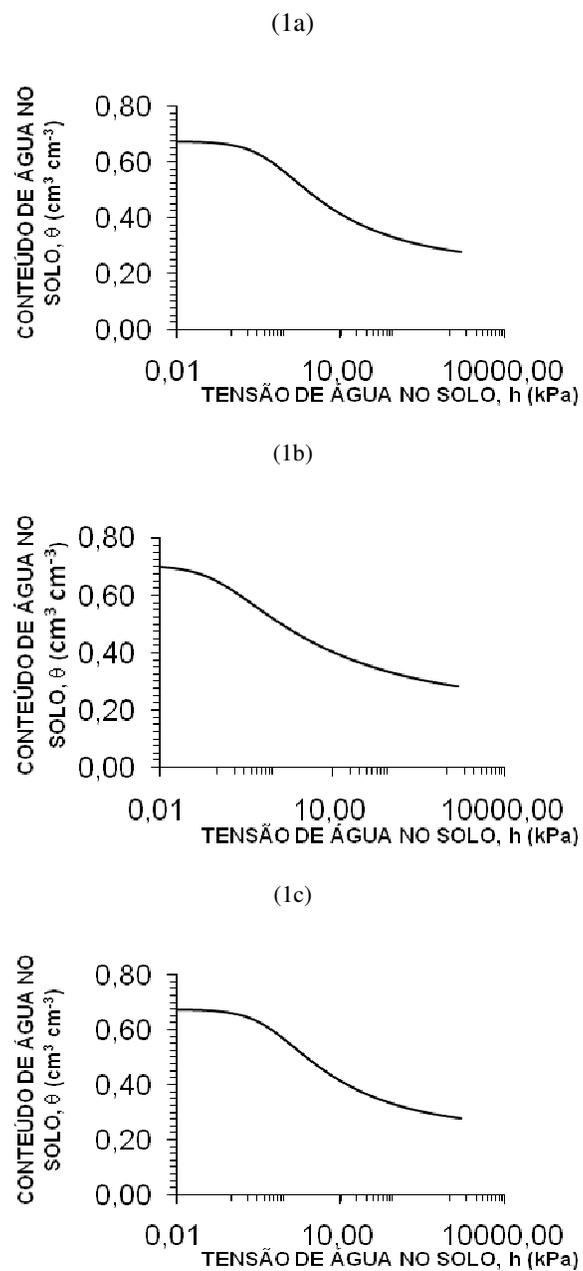
Fonte de variação	gl	Quadrado médio					
		Ds	VTP	MACRO	MICRO	DMG	Ks
Módulo (M)	1	0,0296*	340,1227*	1190,8041*	258,1048*	0,0003ns	0,0032*
Período (Pe)	1	0,1347*	465,9200*	93,3889ns	142,1194*	0,3496ns	0,0060*
M x Pe	1	0,0222ns	121,4022ns	198,7710*	9,4885ns	0,0786ns	0,0011ns
Erro (a)	56	0,0086	78,0187	43,1684	14,9788	0,4280	0,0003
Profundidade (P)	2	0,0164*	5,7145ns	89,7222*	61,2059*	1,0822ns	0,0002ns
P x M	2	0,0201*	175,4486*	122,5546*	13,7795ns	0,8563ns	0,0000ns
P x Pe	2	0,0281*	176,9888*	140,9794*	4,7187ns	0,9640ns	0,0000ns
P x M x Pe	2	0,0013ns	27,1836ns	19,5456ns	17,9158ns	2,9321*	0,0007ns
Erro (b)	112	0,0033	34,3917	21,2386	10,5131	0,8084	0,0003
CV 1 (%)		10,22	13,43	29,49	8,90	18,39	66,60
CV 2 (%)		6,36	8,92	20,68	7,46	25,27	59,48

\*(P<0,05); ns-não significativo.

**TABELA 3A** Análise de variância da densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), macroporos (MACRO), microporos (MICRO), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada (Ks) na época seca.

Fonte de variação	gl	Quadrado médio					
		Ds	VTP	MACRO	MICRO	DMG	Ks
Módulo (M)	1	0,0503*	315,3503*	4,7531ns	242,6722*	2,5627*	2119,8592ns
Período (Pe)	1	0,0457*	499,1670*	910,1253*	61,2500*	0,9318ns	67955,0687*
M x Pe	1	0,0066ns	59,8003ns	185,5420*	34,6722ns	1,2552ns	13548,0963*
Erro (a)	56	0,1907	32,3027	20,5037	14,0738	0,5835	1343,1079
Profundidade (P)	2	0,2378*	694,5045*	739,1378*	0,7722ns	2,1630*	4994,7151*
P x M	2	0,0009ns	1,7961ns	10,6572ns	3,9055ns	0,0195ns	2120,2816*
P x Pe	2	0,0033ns	10,3128ns	18,8545ns	4,8500ns	0,6941ns	2171,8772*
P x M x Pe	2	0,0038ns	32,2545ns	87,7295*	20,5388ns	0,3567ns	185,1792ns
Erro (b)	112	0,1415	13,3955	14,8938	8,2726	0,3516	625,4478
CV 1 (%)		6,20	8,92	20,57	9,00	23,67	68,27
CV 2 (%)		3,78	5,74	17,53	6,90	18,37	46,59

\*(P<0,05); ns-não significativo.



**FIGURA 1A** Curvas de retenção de água no solo nas profundidade 0-5 cm (1a), 5-10 cm (1b) e 10-20 cm (1c) para o solo estudado