

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E
COMPRESSIBILIDADE DE UM LATOSSOLO
SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS**

BRUNO SILVA PIRES

2007

BRUNO SILVA PIRES

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E
COMPRESSIBILIDADE DE UM LATOSSOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS**

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

Orientador

Prof. Dr. Moacir de Souza dias Junior

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

2007

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

Pires, Bruno Silva.

Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos. / Bruno Silva Pires. -- Lavras : UFLA, 2007.

86 p. : il.

Orientador: Moacir de Souza Dias Júnior.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Compactação do Solo. 2. Pastagem. 3. Pressão de Preconsolidação. 4. Resistência e susceptibilidade. 5. Tensão Cisalhante. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD –631.43

BRUNO SILVA PIRES

**RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E
COMPRESSIBILIDADE DE UM LATOSSOLO SOB
DIFERENTES USOS E MANEJOS**

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

APROVADA em 25 de Julho de 2007

Prof. Dr. Wellington Willian Rocha

UFVJM

Prof. Dr. Geraldo Cezar de Oliveira

UFLA

Prof. Dr. Moacir de Souza dias Junior
UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

Aos meus pais, Antonio Wagner Silva Pires e Daise Cecília Silva Pires as minhas irmãs e meu sobrinho, pela compressão, amor, exemplo, presença e apoio em todas as minhas decisões.

OFEREÇO

À minha esposa, Lidiane pela amizade, companheirismo, apoio, compressão e por se fazer presente em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do Curso;

Ao Professor Dr. Moacir de Souza Dias Junior pelos ensinamentos, orientação apoio e amizade ao longo do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo;

À Fundação de Ensino Superior de Passos pelo apoio e incentivo;

À FAPIMIG pelo apoio à aquisição de equipamentos;

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce Claret Monteiro Moraes e Delanne Ribeiro, pela convivência saudável, amizade e auxílio na realização das análises;

Ao Professor Doutor Wellington Willian Rocha, pela amizade, apoio co-orientação, por participar da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas fundamentais para realização deste trabalho;

Ao Professor Doutor Geraldo Cezar de Oliveira, pela amizade, apoio, conselhos, por participar da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas fundamentais para realização deste trabalho;

A todos Professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA) pelos conhecimentos transmitidos ao longo do Curso;

A todos colegas da pós-graduação, especialmente Cezar Francisco Araújo Junior e Ivoney Gontijo pela amizade companheirismo e conhecimentos transmitidos sobre a utilização dos equipamentos do Laboratório de Física do Solo bem como nas análises estatísticas, Eduardo da Costa Severiano, Arystides Resende da Silva, Giovana Alcântara Maciel, Fabrício de Menezes Telo Sampaio, Gislene Aparecida dos Santos e Ricardo Carvalho companheiros e

amigos do setor de Física do Solo, Leilson Antonio de Faria Junior pela amizade ao longo de mais de sete anos. Aos demais colegas pela amizade e conhecimentos transmitidos;

Aos alunos de iniciação científica Thiago, Carloeme e Miriam pela amizade e auxílio na realização das análises;

A toda minha família pelo apoio, exemplo e compreensão por estar ausente em vários momentos para a conclusão desta etapa.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1	01
1 INTRODUÇÃO	02
2 REFERENCIAL TEÓRICO	06
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
CAPÍTULO 2: Modelagem da capacidade de suporte de cargas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos	19
Resumo	20
Abstract	21
1 Introdução	22
2 Material e métodos	26
3 Resultados e discussão	34
4 Conclusões	39
5 Referencias bibliográficas	40
CAPÍTULO 3: Resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos	45
Resumo	46
Abstract	47
1 Introdução	48
2 Material e métodos	53
3 Resultados e discussão	60
4 Conclusões	81
5 Referencias bibliográficas	82

RESUMO GERAL

PIRES, Bruno Silva. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.*

A compactação do solo tem sido apontada como um dos principais processos de redução da produtividade de diversas atividades agrícolas. Dentre as atividades afetadas, as que mais sofrem com esse problema são as que preservam a estrutura do solo, ou seja, as que não implicam em ter o preparo do solo anual. As pastagens e o plantio direto de milho se enquadram nessa realidade, pois, na maioria das vezes, as operações de revolvimento do solo nessas atividades ocorrem em função da compactação superficial do solo, seja pelo pisoteio animal ou pelo tráfego de máquinas, sem o controle da umidade. A utilização dos modelos de capacidade de suporte de cargas para auxiliar na prevenção ou na identificação de manejos mais resistentes ou susceptíveis à compactação dos solos é uma metodologia testada e consolidada. No entanto, a resistência ao cisalhamento dos solos agrícolas e seus parâmetros podem auxiliar e somar às metodologias utilizadas na atualidade. Este estudo foi realizado com os objetivos de: a) gerar modelos de capacidade de suporte de carga para os diferentes manejos de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) identificar, por meio do uso dos modelos de capacidade de suporte de carga o manejo mais suscetível e mais resistente à compactação; c) desenvolver envoltórias de resistência ao cisalhamento e obter seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo; d) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nestes manejos. O estudo foi conduzido, no período de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2007, no município de Passos, MG, à latitude de 19°S e longitude 43°W de Greenwich. As áreas do estudo encontram-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.709,4 mm e declividade média de 6%. Foram avaliados sete manejos no solo em estudo, sendo: pastagens irrigadas antes (1) e após (2) o pisoteio animal, pastagens não irrigadas antes (3) e após (4) o pisoteio animal, corredor de acesso aos piquetes (5), plantio direto de milho (6) e mata nativa (7). As amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial e nos ensaios de resistência ao cisalhamento. Determinaram-se também textura, matéria orgânica, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Os manejos pastagem irrigada e não irrigada, antes do pisoteio animal, geraram modelos de capacidade

* Comitê Orientador: Dr. Moacir de Souza Dias Junior – UFLA (Orientador), Dr. Wellington Willian Rocha – UFVJM (Co-orientador).

de suporte de cargas semelhantes e não alteraram a estrutura do solo. Os manejos pastagem irrigada após pisoteio, pastagem não irrigada após pisoteio, plantio direto de milho e corredor de acesso aos piquetes geraram modelos de capacidade de suporte de cargas semelhantes e alteram a estrutura do solo. As pastagens que sofreram o pisoteio animal apresentaram maior resistência ao cisalhamento. De forma geral, a presença de matéria orgânica aumentou a resistência ao cisalhamento. Os ensaios de resistência ao cisalhamento realizados em amostras com maior umidade avaliaram a estrutura do solo de modo semelhante aos modelos de capacidade de suporte de cargas. O ângulo de atrito interno (ϕ) foi mais eficiente para determinar maior ou menor resistência ao cisalhamento em solos agrícolas.

GENERAL ABSTRACT

PIRES, Bruno Silva. **Shear strength and compressibility of a Latosol under different uses and weed management.** 2007. 86 P. Dissertation (Master Science in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.*

Soil compaction has been pointed out as one of the main process of yield reduction of a number of farming activities. Amongst the affected activities, the ones that suffer the most from this problem are the ones that preserve the soil structure, namely, those which do not imply in having the annual soil tillage. Grasslands and no-tillage planting of maize fit into that reality, since, in most times, the plowing operations of soil in these activities occur as related to soil surface compaction, whether by animal trampling whether by machine traffic, without moisture control. The use of the load support capacity models to aid in preventing or in identifying the more resistant or susceptible managements to soil compaction is a tested and consolidated methodology. However, the shear strength of agricultural soils and its parameters can help and add to the methodologies used at present time. This study was carried out with the objectives of: a) generating load support capacity models for the different managements of a Red-Yellow Latosol; b) identifying through of the use of the load support capacity models the management more susceptible and more resistant to compaction; c) developing shear strength envelopes and obtaining its parameters for the different management systems of a Red-Yellow Latosol; d) comparing the shear strength envelopes and proposing a better soil use based on these managements. The study was conducted in the period of February of 2006 to February of 2007, in the town of Passos, MG, at latitude of 19°S and longitude 43°W from Greenwich. The areas of the study lie at an average altitude of 700 m, with annual average temperature of 19°C, annual average rainfall of 1,709, 4 mm and average slope of 6%. Seven managements in soil under study were evaluated, namely: (1) grasslands irrigated before animal trampling (2) grasslands irrigated after animal trampling (3) grasslands not-irrigated after animal trampling and (4) after animal trampling, access corridor to the enclosures (5) no tillage planting of corn (6), and native woodland (7). The unaisturbed soil samples were utilized in the uniaxial compression test and in the shearing strength trials. Texture, organic matter, field capacity and permanent wilting point were also determined. The management: irrigated and non-irrigated grassland, before animal trampling generated similar load support

* Guidance Committee: Dr. Moacir de Souza Dias Junior - UFLA, Dr. Wellington Willian Rocha.

capacity models and did not alter the soil structure. The managements: grassland irrigated after trampling, grassland irrigated after trampling, no-tillage planting of corn and access corridor to the enclosures generated similar load support capacity models and modified soil structure. The grasslands which went through trampling showed increased shearing strength. In general, the presence of organic matter increased shear strength. The shearing strengths tests performed in soil samples with higher moisture content evaluated the soil astructure in a similar way the load support capacity models. The angle of internal friction (ϕ) was more effective to determine either higher or lower shearing strength in farming soils.

CAPÍTULO 1

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E COMPRESSIBILIDADE DE UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS

1 INTRODUÇÃO GERAL

A exploração dos recursos naturais, ao longo do tempo, sempre suscitou uma preocupação com questões exclusivamente sócio-econômicas, em detrimento, na maioria das vezes, das conseqüências ambientais inerentes à ação antrópica. Vários são os exemplos de momentos na história nos quais o homem, simplesmente preocupado com o desenvolvimento a todo custo, não pensou na conseqüência desses atos sobre o ecossistema do qual ele também faz parte e é dependente.

A pecuária brasileira se caracteriza por ter a maioria de seu rebanho criado em pastagens, que é a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os bovinos. Mas, essas pastagens são, normalmente, de baixa qualidade devido, em parte, a características de nossos solos, das espécies cultivadas e, principalmente, devido à falta de práticas, como adubação, uso de forrageiras inadequadas, rodízio e taxa de lotação adequada, entre outras (Oliveira et al., 1999).

A interferência do homem na produção animal a partir do uso de pastagens deve: garantir a perenidade do sistema adotado, seja ele baseado no uso de pastagens naturais ou cultivadas; assegurar um compromisso entre a oferta de quantidade e de qualidade de forragem compatível com a produção animal pretendida e permitida pelo meio e simplificar e reduzir custos ou aumentar a margem líquida. Para alcançar esses objetivos, é necessário que o manejo da pastagem, caracterizado pelo sistema de pastejo adotado, fertilização, pressão de pastejo, etc., seja adequado às características morfofisiológicas das plantas forrageiras e do solo (Nabinger, 1997).

Para os sistemas de produção pecuária, o uso eficiente de forrageiras e pastagens como base da alimentação animal representa uma das formas mais

garantidas de se elevar a produtividade e reduzir os custos de produção (Silvestre, 1998).

Particularmente no Brasil, a degradação de pastagens é considerada um dos maiores problemas da pecuária (Kichel et al., 1997). Estima-se que cerca de 80% dos 45 a 50 milhões de hectares da área de pastagens nos Cerrados do Brasil encontrem-se em algum estágio de degradação (Barcellos, 1996).

Diante desse panorama, fica clara a necessidade de uma utilização mais racional dos recursos naturais existentes, o que será possível somente por meio de uma melhor compreensão dos ecossistemas de pastagens, para que práticas de manejo e sistemas de produção animal possam ser idealizados e implementados sem colocar em risco sua sustentabilidade e produtividade (Sbrissia & Silva, 2001).

A água é um dos principais fatores no desenvolvimento das culturas e as irregularidades do regime pluviométrico são uma restrição ao desenvolvimento agrícola. A irrigação tem sido uma das técnicas mais utilizadas na agricultura para se conseguir acréscimo na produtividade (Drumond & Fernandes, 2001).

Para se ter resultados positivos com a irrigação de pastagens tropicais, a temperatura ambiente não pode estar abaixo de 15⁰C, sendo este o fator ambiental que mais limita a resposta da planta forrageira à irrigação. A luminosidade só influencia em 10% a produção. A melhor resposta ocorre no verão, quando a temperatura é alta, possibilitando aumentos de 20% a 30% na produção de forragem. Nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, a produção no inverno é, em média, 50% da do verão (Aguiar & Almeida, 1999).

Poucos estudos levam em conta os atributos físicos do solo sob pastagem e a utilização da irrigação gera um agravante ao se tratar da compactação do solo gerada pelo pisoteio animal. Isso porque o pisoteio irá ocorrer com uma umidade

do solo muito elevada, podendo ultrapassar a capacidade suporte de cargas do solo e, conseqüentemente, gerando compactação adicional ao solo.

A literatura sugere que o número de animais suportados pela pastagem deve ser definido em função da produtividade da forrageira utilizada e do tipo de manejo adotado. Assim, não se leva em consideração o fato de o solo suportar essa carga sem sofrer compactação, principalmente em pastagem irrigada, na qual, normalmente, se aumenta o número de animais por ha e o solo é mantido mais úmido com conseqüente menor capacidade de suporte de carga.

Uma realidade no estado de Minas Gerais é o cultivo de apenas uma safra ao ano. No inverno, o clima seco inviabiliza o cultivo de uma segunda safra, exceto em áreas sob irrigação ou áreas de safrinha, que são de pequena representatividade no estado. Como resultado, na maior parte do ano, as áreas agrícolas permanecem ociosas, não dando nenhum retorno ao agricultor. Nessa época, multiplicam-se plantas daninhas e outras pragas, o que exige maior gasto com defensivos químicos para o seu controle por ocasião do novo ciclo de cultivo.

Essa situação é observada em áreas onde o plantio direto é realizado, pois não há condições de produção para as culturas de inverno. O resultado é uma lavoura de verão com baixa qualidade, devido à falta e à desuniformidade da palhada para cobertura do solo, além de não se quebrar o ciclo das doenças e pragas. O consórcio lavoura-pecuária tem se mostrado uma excelente alternativa, pois, com ele, se consegue obter renda na área na época de inverno (engorda de boiada) e na época do plantio de verão se tem palhada abundante e de boa qualidade.

No entanto, não se sabe se o pisoteio animal irá causar compactação adicional nessas áreas, prejudicando as culturas seguintes. Essa mudança na

forma de exploração da terra está provocando uma nova condição de trabalho que deve ser estudada para minorar efeitos indesejáveis.

O consorcio lavoura-pecuária representa uma alternativa para o problema da sazonalidade da produção do campo nativo, possibilitando a produção de pastagens no período hibernar, antecedendo culturas de verão, produtoras de grãos. A utilização racional dos fatores de produção possibilita maior rentabilidade ao agricultor e, dessa forma, um uso mais eficiente do solo, promovendo maior reciclagem de nutrientes (Gaggero et al., 2002).

As propriedades físicas de um solo sob mata natural podem ser um indicativo de qualidade. Dessa forma, se há diversos manejos e uma mata natural em um mesmo solo, esta pode ser uma referência para a avaliação dos impactos de cada tipo de manejo nas propriedades físicas.

Diante dessas considerações, este estudo teve os seguintes objetivos: a) gerar modelos de capacidade de suporte de carga para os diferentes manejos de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) identificar, por meio do uso dos modelos de capacidade de suporte de carga, o manejo mais susceptível e mais resistente à compactação; c) verificar o efeito da palhada obtida na colheita do milho sob plantio direto nos modelos de capacidade de suporte de cargas; d) desenvolver envoltórias de resistência ao cisalhamento e obter seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo e) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo com base nesses manejos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compactação do solo sob diferentes usos e sua modelagem

O Brasil tem uma área total de pastagens da ordem de 180 milhões de hectares, o que corresponde a mais de 20% do território nacional (Zimmer et al., 2002). Um dos grandes entraves à obtenção de elevadas produtividades tem sido a compactação do solo.

Diferentes sistemas de manejo alteram a estrutura do solo que por sua vez, interfere em uma série de atributos físicos, químicos e biológicos (Faria et al., 1998; Kondo & Dias Junior, 1999; Singh & Malhi, 2006). Apesar de vários pesquisadores (Silva et al., 2000; Oliveira et al., 2003; Assis & Lanças, 2005; Singh & Malhi, 2006) terem identificado os efeitos do manejo nos atributos físicos do solo, existe uma carência de estudos que quantifiquem os níveis de pressões que podem ser aplicados aos solos, sem que haja degradação estrutural.

Diante disso, em áreas aptas à mecanização, o uso indiscriminado dos diferentes sistemas de manejo, principalmente sistemas mecanizados, está se tornando preocupante, devido à possibilidade da disseminação da compactação do solo. Esse tipo de degradação tem atingido aproximadamente 68 milhões de hectares em todo o mundo, destacando-se como uma das causas mais severas de degradação na estrutura dos solos, comprometendo a qualidade física de terras agrícolas e a obtenção de maiores produtividades (Flowers & Lal, 1998; Alakukku et. al., 2003). A compactação do solo pode reduzir o rendimento das culturas e também provocar danos ambientais, levando à maior exposição do solo, que passa a ser mais susceptível aos agentes erosivos, com sua conseqüente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água.

Com isso, uma das limitações para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável está relacionada com a utilização dos diferentes sistemas

de manejo, que podem causar compactação, devido à não existência de controle da umidade do solo ou de sua capacidade de suporte de carga no momento da realização das operações agrícolas mecanizadas.

Em vista disso, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo é de fundamental importância quando se almejam maiores produtividades e preservação ambiental (Secco et al., 2005; Libardi & Fernandes, 2006). A preservação da estrutura do solo está relacionada com a sua capacidade de suporte de carga, a qual pode ser obtida nos ensaios de compressibilidade de solos parcialmente saturados. Assim, o entendimento do comportamento compressivo do solo adquire grande importância em razão de ser a base, do ponto de vista físico, para a tomada de decisão do manejo mais adequado, visando reduzir os efeitos prejudiciais causados à sua estrutura.

Levando esses aspectos em consideração, Dias Junior (1994) desenvolveu o modelo de capacidade de suporte de carga, que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes umidades, sem causar compactação adicional, em função da pressão de preconsolidação e da umidade do solo. Essa pressão divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformação pequena, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária, indicando a presença de uma história de tensão do solo) e outra de deformação plástica e não recuperável (reta de compressão virgem). A pressão de preconsolidação do solo reflete, portanto, o tipo de manejo (Dias Junior & Pierce, 1996), sendo utilizado por diversos autores como indicador da capacidade de suporte de carga do solo e de qualidade estrutural (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1995; Silva et al., 2000; Oliveira, 2002; Lima, 2004; Peng et al., 2004; Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2006).

Em culturas irrigadas, a compactação do solo é uma preocupação, pois, o solo permanece com umidade maior e, conseqüentemente, baixa capacidade de suporte de carga. A compactação pelo tráfego de máquinas nas diferentes

operações de preparo de solo, semeadura, tratos culturais e colheita é apontada em diversos trabalhos (Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 2000; Oliveira et al., 2003; Assis & Lanças, 2005; Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2006), assim como pelo pisoteio de animais (Lima, 2004) resultando em baixas produtividades. Em se tratando de pastagem irrigada, esse problema tem o agravante de não ser possível evitar o pisoteio animal nessa fase, gerando, provavelmente, compactação adicional do solo.

Ao avaliar a compressibilidade do solo sob os sistemas de pastejo rotacionado irrigado e não irrigado, Lima (2004) observou um aumento na pressão de preconsolidação no sistema de pastejo rotacionado irrigado em relação ao sistema pastejo rotacionado não irrigado. Na literatura, há indicações de que os animais podem exercer pressões no solo da ordem de 350 a 400 kPa (Proffitt et al., 1993; Betteridge et al., 1999). Nie et al. (2001) indicaram, ainda, que a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados, o que torna o pisoteio do solo pelo animal um importante assunto a ser estudado.

Nas culturas anuais, a compactação do solo tem ocorrido devido à intensiva mobilização do solo e tráfego sob condições inadequadas de umidade (Silva et al., 1986; Silva et al., 2002). Nas pastagens, o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (Kondo, 1998).

2.2 Resistência ao cisalhamento em solos agrícolas

A resistência do solo ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo, a qual vem sendo desconsiderada na maioria das pesquisas que investigam a influência do uso e manejo. Isso tem contribuído para a adoção de estratégias quase sempre equivocadas, tendo, como conseqüência, o depauperamento das propriedades físicas e mecânicas do solo (Silva et al., 2004). A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser usada como um

indicador de compactação do solo (Ayers & Perumpral, 1982, Schjonning, 1991). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), devido à menor distância entre as partículas, o que confere, conseqüentemente, menor índice de vazios e um maior esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo.

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorre (Rocha 2003). Ela pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ (Ramamurthy, 2001), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças tangencial e normal. Essa equação define a envoltória de resistência, que é a linha limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer pressão cisalhante que esteja acima dessa linha promoverá a ruptura do solo (Rocha, 2003).

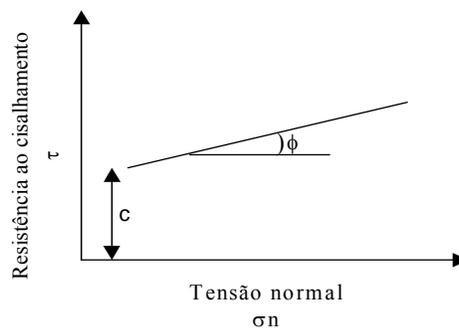


FIGURA 1. Envoltória de resistência.

Os parâmetros c e ϕ são atributos intrínsecos dos solos (Benjamim & Cruse, 1985; Ramamurthy, 2001; Zang et al., 2001).

Nesses estudos, a coesão determinada é a coesão aparente ou intercepto de coesão (c). Esse parâmetro é uma parcela da resistência ao cisalhamento dos solos presente apenas em solos parcialmente saturados, em consequência da maior ou menor tensão capilar (Pinto, 1989; Vargas, 1989 & Azevedo, 1999). Saturando-se ou secando-se o solo totalmente, esse parâmetro desaparece. Daí o nome aparente.

A coesão aparente do solo será tanto maior quanto maior for a proximidade das partículas desse solo (Pinto, 1989). Para maiores valores de densidades de um mesmo solo, esse parâmetro da resistência ao cisalhamento será também maior (Rocha et al., 2001). Em estudos de resistência ao cisalhamento e mecanização agrícola, correlações positivas com a resistência do solo à penetração e densidade do solo já foram obtidas tanto para uma como para várias passadas de tratores na mesma linha de tráfego (Servadio et al., 2001 & Zang et al., 2001), tendo os valores de resistência ao cisalhamento do solo aumentado com o aumento do número de passadas dos tratores. Portanto, modelos baseados na resistência ao cisalhamento do solo podem ser elaborados na previsão da capacidade suporte de cargas do solo, uma vez que análises de tensões-deformações podem ser obtidas nesse tipo de ensaio.

Com relação à textura, solos com maiores quantidades de areia apresentarão maiores resistências ao cisalhamento (Rocha et al., 2001), devido à capacidade dessas partículas de se rearranjarem de maneira mais densa quando submetidas a esforços externos, conferindo maiores densidades aos solos (Dias Júnior & Miranda, 2000), o que gera maior atrito entre as partículas e aumenta a resistência ao cisalhamento do solo. No caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo, pelo fato de essa fração ser a mais ativa do solo, e os processos físicos e químicos, tais como sucessivas arações e gradagem, flutuação do lençol freático por meio de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, atuam para aumentar ou reduzir o contato entre

partículas do solo e, conseqüentemente, aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento do solo.

Para Sidorchuk et al. (2002), a umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar na resistência ao cisalhamento do solo, de forma que, para determinados valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, em função da menor densidade do solo conferida por esta, reduzindo, com isso, o contato entre as partículas. Por outro lado, também dependendo da umidade, a matéria orgânica presente no solo exerce funções físicas e químicas, tais como um melhor desenvolvimento radicular e uma melhor estruturação do solo que, certamente, influenciarão no aumento da resistência ao cisalhamento.

Assim, a resistência ao cisalhamento dos solos é um parâmetro importante na caracterização das alterações da estrutura do solo (Cruse & Larson, 1977, Davies, 1985; Gantzer et al., 1987, Servadio et al., 2001). Uma vez que a maioria dos solos agrícolas é cultivada com baixos teores de matéria orgânica (Ekwue & Stone, 1995) e, na umidade inadequada (Silva et al., 2002), a variação da resistência ao cisalhamento do solo com os teores de matéria orgânica deve ser mais bem estudada. Isso porque, além do efeito direto na estruturação dos solos, a matéria orgânica, juntamente com a mineralogia, é o principal agente que incrementa a capacidade de troca de cátions e que garante uma boa condição de fertilidade química dos solos (Lopes, 1996) o que, de certa forma, pode permitir a correta especificação do equipamento a ser utilizado no seu preparo.

Gaggero et al. (2002), estudando a influência do pisoteio animal em áreas de plantio direto na época do inverno, concluíram que solos que sofreram o pisoteio animal apresentaram maior resistência ao cisalhamento, comparados com os mesmos solos que não sofreram esse pisoteio. Os autores constataram, ainda, que a resistência ao cisalhamento se mostrou mais sensível na detecção da

compactação, pois a densidade e a resistência à penetração não revelaram as diferenças que foram encontradas com a utilização desta técnica.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. A.; ALMEIDA, B. H. P. J. F. **Irrigação de pastagens**. Viçosa, MG: CPT, 1999. 50p.

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

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 507–514, 2005.

AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index. **Trans. American Society of Civil Engineers**, v. 21, p. 1169 - 1172, 1922.

AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa - MG**. 1999. 169p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. BIODIVERSIDADE E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ALIMENTOS E FIBRAS NOS CERRADOS, 1996, Brasília. **Anais...** Brasília, 1996. p. 130-136.

BENJAMIN, J.G.; CRUSE, R. M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. **Soil Science Society of American Journal**, v. 49, p.1248 – 1251, 1985.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A.D.; SHEPHERD, T.G.; BARKER, D.J.; BUDDING, P.J.; DEVANTIER, B.P.; COSTALL, D.A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Res.**, v. 37, p. 743-760, 1999.

CRUSE, R. M.; LARSON, W. E. Effects of soil shear strength on soil detachment due to rain drop impact. **Soil Science Society of American Journal**, v. 41, p. 777-781, 1977.

DAVIES, P. Influence of organic matter, moisture status and time after reworking on soil shear strength. **Journal of Soil Science**, v.36, n.2, p. 299-306, 1985.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114p. Tese (Doutorado)-Michigan State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to *Eucalyptus* harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 248-255, May/June 2005.

DIAS, JUNIOR. M. S; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 337-346, 2000.

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

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

DRUMOND, L. C. D.; FERNANDES, A. L.T. **Irrigação por Aspersão em Malha**. Uberaba, MG: Universidade de Uberaba, 2001. 84p.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of impacted agricultural soils. Trans. **American Science Agricultural Eng.**, v. 38, p. 357-365, 1995.

FARIA, J. C.; SHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, p. 731-741, jul. 1998.

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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 21-35, 1998.

GAGGERO, M. R.; TREIN, C. R.; IPPOLITI, G. Influencia de sistemas de preparo e pastejo nas características físicas do solo. **Revista de Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, p. 1-16, 2002.

GANTZER, C. J.; BUYANOVSKY, G. A.; ALBERTS, E.; REMLEY, P. A. Effects of soybean and crop residue deposition on soil strength and splash detachment. **Soil Science Society of American Journal**, v. 51, p. 202-206, 1987.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Fatores de degradação de pastagem sob pastejo rotacionado em ênfase na fase de implantação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p.193-211.

KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: novos desafios do carbono o manejo conservacionista, 16., 2006, Aracaju. **Palestras...** Aracaju, SE: SBCS, 2006.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

LOPES, J. A. U. **Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/ corretivos da engenharia civil**. Recuperação de áreas degradadas: III Curso de atualização. Curitiba, UFPR, PR: 1996. p. 59-81.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 13., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP, 1997. p. 15-95.

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 Soil Res.**, v. 52, p. 37-43, 2001.

OLIVEIRA, G. C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado.** 2002. 78p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 291–299, fev. 2003.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, R. S. M.; MAGNABOSCO, C. U.; FERNANDES, A. **Desempenho animal sob os diferentes manejos das pastagens:** modelos de sistemas de produção. Uberaba: ABCZ/FAZU, 1999. p. 85-93. (Apostila do Curso de Atualização por Tutoria à Distância, 6).

PENG, S. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZAHO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompactd Ultisols. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 125–137, 2004.

PINTO, C. S. **Resistência ao cisalhamento dos solos.** São Carlos: Grêmio Politécnico, 1989.

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 Soil Res.**, v. 44, p. 317-331, 1993.

RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, p. 1-15, 2001.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG.** 2003. 101p Tese (Doutorado em Solo e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROCHA, W. W.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Shear strength as affected by soil mineralogy. In: ANNUAL MEETING OF SOCIETY OF AGRONOMY IN UNIVERSITY, 2001, North Caroline. **Proceedings...** North Caroline, 2001.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 731-754.

SCHJONNING, P. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil Tillage Res.**, v. 12, p. 277- 283, 1991.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FERREIRA, F. P. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: Solos, Sustentabilidade e Qualidade Estrutural., 30., 2005, Recife. **Palestras...** Recife, PE: SBCS, 2005.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; PAGLIAI, M.; PELLEGRINI, N.; VIGNOZZI, N. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil Tillage Res.**, v. 61. p. 143 – 155, 2001.

SIDORCHUK, A. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. **Catena**, v. 709, p. 312-328, 2002.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 207–216, fev. 2006.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p 165-173, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 239-249, abr./jun. 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1–8, 2002.

SILVESTRE, J. R. A. Capim-elefante: alternativa vantajosa para o produtor. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, p. 1-2, 1998.

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, p. 143–153, 2006.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, McGraw-Hill, 1989. 509p.

ZANG, B.; ZHAO, Q. G.; HORN, R.; BAUMGARTL, T. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. **Soil Tillage Res.** v. 59, p. 97 – 106, 2001.

ZIMMER, A.; SILVA, M. P.; MAURO, R. Sustentabilidade e impactos ambientais da produção animal em pastagem. In: PEIXOTO, A. M.; MAURA, J. C.; PEDREIRA, C. G. S.; FARIA, V. P. **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2002. Cap. 2, p. 31-58.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DA CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS

RESUMO

PIRES, Bruno Silva. Modelagem da capacidade de suporte de cargas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. In: _____. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. Cap. 2, p.19-44 Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.*

A compactação do solo tem sido apontada como um dos principais processos de redução da produtividade de diversas atividades agrícolas. Dentre as atividades afetadas, as que mais sofrem com esse problema são as que preservam a estrutura do solo. As pastagens e o plantio direto de milho se enquadram nessa realidade, pois, na maioria das vezes, as operações de revolvimento do solo nessas atividades ocorrem em função da compactação superficial do solo, seja pelo pisoteio animal ou pelo tráfego de máquinas sem o controle da umidade que altera o meio onde o sistema radicular se desenvolve e compromete a produção. A utilização dos modelos de capacidade de suporte de cargas para auxiliar na prevenção ou na identificação de manejos mais resistentes ou susceptíveis à compactação dos solos é uma metodologia testada e consolidada. Este estudo foi realizado com os seguintes objetivos: a) gerar modelos de capacidade de suporte de carga para os diferentes manejos de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) identificar, por meio do uso dos modelos de capacidade de suporte de carga o manejo mais suscetível e mais resistente à compactação. O estudo foi conduzido, no período de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2007, no município de Passos, MG, à latitude de 19°S e longitude de 43°W de Greenwich. As áreas do estudo encontram-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.709,4 mm e declividade média de 6%. Foram avaliados sete manejos no solo em estudo, sendo eles: pastagens irrigada antes (1) e após (2) o pisoteio animal, pastagens não irrigadas antes (3) e após (4) o pisoteio animal, corredor de acesso aos piquetes (5), plantio direto de milho (6) e mata nativa (7). As amostras indeformadas foram utilizadas no ensaio de compressão uniaxial. Determinaram-se também textura, matéria orgânica, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Os manejos pastagem irrigada e não irrigada, antes do pisoteio animal, geraram modelos de capacidade de suporte de cargas semelhantes e não alteraram a estrutura do solo. Os manejos pastagem irrigada após pisoteio, pastagem não irrigada após pisoteio, plantio direto de milho e corredor de acesso aos piquetes geraram modelos de capacidade de suporte de cargas semelhantes e alteraram a estrutura do solo.

* Comitê Orientador: Dr. Moacir de Souza Dias Junior – UFLA (Orientador), Dr. Wellington Willian Rocha – UFVJM (Co-orientador).

ABSTRACT

PIRES, Bruno Silva. Load support capacity models of a Red-Yellow Latosol under different uses and managements. In: _____. **Shear strength and compressibility of a Latosol under different uses and management.** 2007. CAP. 2, p.19-44 Dissertation (Master Science in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.

Soil compaction has been pointed out as one of the main process of yield reduction of a number of farming activities. Amongst the affected activities, the ones that more suffer from this problem are those which preserve the soil structure. The grasslands and no-tillage planting of corn fit into this reality, for, in most times, the plowing operations of soil in these activities occur as related to surface compaction, either by animal trampling or machine traffic without moisture control which modifies the medium where the root system develops and decreases yield. The use of load support capacity models to aid in the prevention or identification managements of more resistant or susceptible to soil compaction is a tested and consolidated methodology. This study was carried out with the following objectives: a) to generate load support capacity models for the different managements of a Red-Yellow Latosol; b) to identify, through the use of the load support capacity models the management more susceptible and more resistant to compaction. The study was conducted in the period of February of 2006 to February of 2007, in the town of Passos, MG, at latitude of 19°S and longitude of 43°W of Greenwich. The areas of the study are situated at an average altitude of 700 m, with annual average temperature of 19°C, annual average rainfall of 1,709.4 mm and average slope of 6%. Seven managements in the soil under study were evaluated, namely (1) pastures irrigated before animal trampling (2) pastures irrigated after animal trampling (3) grasslands not irrigated before and (4) after animal trampling, access corridor to the enclosures (5), no tillage planting of corn (6), and natural woodland (7). The unaisturbed soil samples were utilized uniaxial compression test. Texture, organic matter, field capacity and permanent wilting point were also determined. The managements irrigated and non-irrigated grassland before animal trampling, generated similar load support capacity models and they did not alter the soil structure. The managements grassland irrigated after trampling and grassland not irrigated after trampling, no-tillage planting of corn and access corridor to the enclosures generated similar load support capacity and modified soil structure.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma área total de pastagens da ordem de 180 milhões de hectares, o que corresponde a mais de 20% do território nacional (Zimmer et al., 2002). Um dos grandes entraves à obtenção de elevadas produtividades tem sido a compactação do solo.

Diferentes sistemas de manejos alteram a estrutura do solo que, por sua vez, interfere em uma série de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Faria et al., 1998; Kondo & Dias Junior, 1999; Singh & Malhi, 2006). Apesar de vários pesquisadores (Silva et al., 2000; Oliveira et al., 2003; Assis & Lanças, 2005; Singh & Malhi, 2006) terem identificado os efeitos do manejo nas propriedades físicas do solo, existe carência de estudos que quantifiquem os níveis de pressões que podem ser aplicadas sem que haja degradação estrutural.

Diante disso, em áreas aptas à mecanização, o uso indiscriminado dos diferentes sistemas de manejo, principalmente sistemas mecanizados, está se tornando preocupante devido à possibilidade da disseminação da compactação do solo. Esse tipo de degradação tem atingido algo em torno de 68 milhões de hectares em todo o mundo, destacando-se como uma das causas mais severas de degradação na estrutura dos solos, comprometendo a qualidade física de terras agrícolas e a obtenção de maiores produtividades (Flowers & Lal, 1998; Alakukku et. al., 2003). A compactação do solo pode reduzir o rendimento das culturas e também provocar danos ambientais, levando à maior exposição do solo, que passa a ser mais susceptível aos agentes erosivos, com sua conseqüente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água.

Em vista disso, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo é de fundamental importância quando se almejam maiores produtividades e preservação ambiental (Secco et al., 2005;

Libardi & Fernandes, 2006). A preservação da estrutura do solo está relacionada à sua capacidade de suporte de carga, a qual pode ser obtida nos ensaios de compressibilidade de solos parcialmente saturados. Assim, o entendimento do comportamento compressivo do solo adquire uma grande importância em razão de ser a base, do ponto de vista físico, para a tomada de decisão do manejo mais adequado, visando reduzir os efeitos prejudiciais causados à sua estrutura.

Levando esses aspectos em consideração, Dias Junior (1994) desenvolveu o modelo de capacidade de suporte de carga, que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes umidades, sem causar compactação adicional, em função da pressão de preconsolidação e da umidade. Essa pressão divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformação pequena, elástica e recuperável (curva de compressão secundária, indicando a presença de uma história de tensão do solo) e outra de deformação plástica e não recuperável (reta de compressão virgem). A pressão de preconsolidação do solo reflete, portanto, o tipo de manejo (Dias Junior & Pierce, 1996), sendo utilizado por diversos autores como indicador da capacidade de suporte de carga do solo e de qualidade estrutural (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1995; Silva et al., 2000; Oliveira, 2002; Lima, 2004; Peng et al., 2004; Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2006).

Em culturas irrigadas, a compactação é uma preocupação, pois, o solo permanece com umidade próxima a capacidade de campo e, conseqüentemente, baixa capacidade de suporte de carga. A compactação pelo tráfego de máquinas nas diferentes operações de preparo de solo, semeadura, tratos culturais e colheita é apontada, em diversos trabalhos (Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 2000; Oliveira et al., 2003; Assis & Lanças, 2005; Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2006), assim como o pisoteio de animais (Lima, 2004), resultando em baixas produtividades. Em se tratando de pastagem irrigada, esse problema

tem o agravante de não ser possível evitar o pisoteio animal nessa fase, gerando, provavelmente, compactação adicional do solo.

Ao avaliar a compressibilidade do solo sob os sistemas de pastejo rotacionado irrigado e não irrigado, Lima (2004) observou um aumento na pressão de preconsolidação no sistema de pastejo rotacionado irrigado em relação ao sistema pastejo rotacionado não irrigado. Na literatura, há indicações de que os animais podem exercer pressões no solo da ordem de 350 a 400 kPa (Proffitt et al., 1993; Betteridge et al., 1999). Nie et al. (2001) indicaram, ainda, que a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados, o que torna o pisoteio do solo pelo animal um importante assunto a ser estudado.

Nas culturas anuais, a compactação é induzida pela intensiva mobilização do solo e tráfego sob condições inadequadas de umidade (Silva et al., 2002; Silva et al., 1986), gerando uma camada compactada logo abaixo da camada trabalhada. Nas pastagens, o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (Kondo, 1998).

Uma realidade no estado de Minas Gerais é o cultivo de apenas uma safra ao ano. No inverno, o clima seco inviabiliza o cultivo de uma segunda safra, exceto em áreas sob irrigação ou áreas de safrinha, que são de pequena representatividade no estado. Como resultado, na maior parte do ano, as áreas agrícolas permanecem ociosas, não proporcionando qualquer retorno ao agricultor. Nessa época, multiplicam-se as plantas daninhas e outras pragas, o que exige maior gasto com defensivos químicos para o seu controle por ocasião do novo ciclo de cultivo.

Essa situação é observada em áreas onde o plantio direto é realizado e não há boas condições de produção para as culturas de inverno. O resultado é uma lavoura de verão com baixa qualidade, devido à falta e à desuniformidade da palhada para cobertura do solo, além de não se quebrar o ciclo das doenças e

pragas. O consórcio lavoura-pecuária tem se mostrado uma excelente alternativa, pois se consegue obter renda na área na época de inverno (engorda de boiada) e, na época do plantio de verão, se tem palhada abundante e de boa qualidade.

No entanto, não se sabe se o pisoteio animal irá causar compactação adicional nessas áreas, prejudicando as culturas seguintes. Essa mudança na forma de exploração da terra está provocando uma nova condição de trabalho que deve ser estudada para minorar efeitos indesejáveis.

A integração lavoura-pecuária representa uma alternativa para o problema da sazonalidade da produção do campo nativo, possibilitando a produção de pastagens no período hibernar, antecedendo culturas de verão, produtoras de grãos. Pela utilização racional dos fatores de produção, possibilita maior rentabilidade ao agricultor e, dessa forma, um uso mais eficiente do solo, promovendo maior reciclagem de nutrientes (Gaggero et al., 2002).

Os atributos físicos de um solo sob mata natural podem ser um indicativo de qualidade. Dessa forma, se temos diversos manejos e uma mata natural em um mesmo solo, esta pode ser uma referência para avaliar os impactos de cada tipo de manejo nas propriedades físicas.

Com base nesses fatores, o presente estudo foi realizado com os objetivos de: a) gerar modelos de capacidade de suporte de carga para os diferentes manejos de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) identificar, por meio do uso dos modelos de capacidade de suporte de carga, o manejo mais susceptível e mais resistente à compactação e c) verificar o efeito da palhada obtida na colheita do milho sob plantio direto, nos modelos de capacidade de suporte de cargas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido, no período de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2007, na Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Minas Gerais, em Passos, MG, à latitude de 19°S e longitude 43°W de Greenwich.

As áreas do estudo encontram-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 18°C a 20°C e precipitação média anual de 1.709,4 mm.

O relevo é suave ondulado em grandes extensões com declividade entre 3%-8% e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média (Embrapa, 2006).

TABELA 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) localizado na Fazenda Experimental de FESP/UEMG, sob diferentes manejos na profundidade de 3 centímetros.

Manejos	Argila	Areia	Silte	MO	CC	PMP	Dp	Ds
	-----g kg ⁻¹ -----				---- kg kg ⁻¹ ----		---- Mg m ⁻³ ----	
a	280	620	100	20	0,22	0,13	2,64	1,34
nia	280	610	110	19	0,23	0,15	2,65	1,28
p	280	620	100	16	0,26	0,16	2,64	1,35
up	270	620	110	20	0,24	0,15	2,65	1,38
ata	270	600	130	27	0,25	0,15	2,64	1,30
o	270	610	120	38	0,28	0,16	2,65	1,34
orredor	280	600	120	10	0,24	0,18	2,65	1,56

Pia: pastagem irrigada antes do pisoteio animal; Pina: pastagem não irrigada antes do pisoteio animal; Pip: pastagem irrigada após o pisoteio animal; Pnip: pastagem não irrigada após o pisoteio animal; PD: plantio direto de milho; MO: matéria orgânica; CC: capacidade de campo (amostras submetidas ao potencial mátrico (ψ) de -6 kPa); PMP: ponto de murcha permanente (amostras submetidas ao potencial mátrico (ψ) de -1500 kPa); Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo.

TABELA 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) localizado na fazenda Experimental da FESP/UEMG.

Profundidade	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
(cm)	-----%-----						
20-40	8,36	11,83	5,95	1,37	0,04	1,21	0,91

Ki = relação molecular SiO₂/Al₂O₃; Kr = relação molecular SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃

O experimento foi implantado em uma área de oito hectares, dos quais dois hectares eram de pastagem irrigada, dois hectares de pastagem não irrigada, dois hectares sob sistema plantio direto de milho e dois hectares de mata natural.

Os quatro hectares de pastagem foram cultivados com braquiária (*Brachiaria bizanta* cv. Vitória), divididos em 32 piquetes ao todo (16 irrigados e 16 não irrigados), para a condução de pastejo rotacionado de novilhos da raça Nelore. Para a implantação da forrageira, o solo sofreu uma operação de aração e duas gradagens.

O plantio foi realizado com uma esparramadora de calcário, do tipo centrífuga (Figura 1), utilizando areia misturada à semente para melhorar a uniformidade de aplicação. As sementes utilizadas foram adquiridas da empresa Matshuda Sementes e Nutrição Animal. As divisões são feitas com cercas energizadas com eletrificadores ligados à rede elétrica e a um painel solar fornecidos pela empresa Peon Cercas Elétricas. Água e sal mineral foram fornecidos à vontade, em uma área de lazer.



FIGURA 1. Detalhamento da sementeira.

A pastagem irrigada sofreu uma pressão de pastejo de 5 unidades animais por hectare, período de ocupação de 2 dias e período de descanso de 32 dias. A irrigação foi realizada por aspersão em malha fechada (Figura 2), sendo grande parte proveniente de doação feita pela CEMIG. Esse sistema de irrigação requer uma menor potência do conjunto moto-bomba, além de utilizar tubulações de menor diâmetro. Em contrapartida, é necessária maior utilização de mão-de-obra para trocar os aspersores de posição, o que torna esse sistema viável em pequenas e médias propriedades. O monitoramento da irrigação foi realizado utilizando-se um tanque classe A instalado bem próximo ao experimento, empregando-se um turno de rega fixo de sete dias.



Figura 2. Detalhamento da irrigação por aspersão em malha fechada.

A pastagem não irrigada foi submetida ao mesmo manejo de pastejo rotacionado, no entanto, não recebeu a irrigação.

Os dois hectares sob sistema de plantio direto de milho correspondem a uma área na qual foi realizado o cultivo de milho sob o sistema de plantio direto por mais de sete anos. A área de mata natural (dois hectares) situa-se abaixo da área de pastagem irrigada e serviu como referência para a comparação entre os atributos físicos avaliados.

2.1 Amostragem

Foram coletadas amostras deformadas para análise de fertilidade, as quais serviram para a implantação das culturas. As correções e as adubações de plantio e de cobertura seguiram as recomendações para o estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

Concomitantemente com as operações de preparo do solo e implantação da pastagem, foram retiradas amostras indeformadas de solo com o auxílio de um amostrador de Uhland (Figura 3) utilizando anéis volumétricos de 6,40 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura. A amostragem constituiu-se de duas etapas: antes da entrada dos animais e seis meses após o pisoteio dos animais na área.

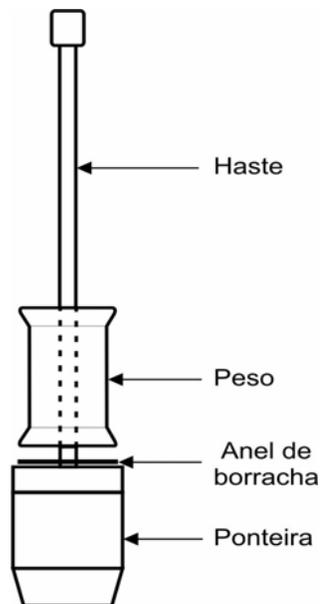


FIGURA 3. Amostrador de Uhland esquematizado.

Fonte: Adaptado de Kondo (1998).

A profundidade de coleta das amostras indeformadas foi definida após serem obtidos os valores de resistência à penetração do solo na capacidade de

campo em pequenas trincheiras de 40 cm de profundidade, em uma área vizinha com pastagem e pisoteio animal há vários anos e do mesmo solo. Foi então escolhida a profundidade de máxima resistência mecânica à penetração (0-5 cm), adotando-se essa profundidade como sendo a mais afetada pelo pisoteio animal.

Antes da entrada dos animais, foram coletadas 64 amostras indeformadas em cada um dos sistemas de pastejo estudados; após seis meses de pastejo, foram coletadas 32 amostras indeformadas em cada sistema de pastejo.

Na mata virgem vizinha da pastagem com o mesmo solo foram coletadas 32 amostras indeformadas em anéis semelhantes e, na área de plantio direto de milho, foram coletadas mais 32 amostras indeformadas. Foram coletadas, ainda, 10 amostras indeformadas nos corredores de acesso aos piquetes, totalizando 266 amostras para realizar ensaios de compressão uniaxial, além da determinação de capacidade de campo e ponto de murcha.

Após a amostragem, as amostras indeformadas foram embaladas em filme plástico, parafinadas e identificadas. A utilização do filme plástico e a parafina garantem que a estrutura da amostra seja preservada até a realização do ensaio no laboratório.

A parte de descarte das amostras indeformadas oriundas das partes superiores e inferiores dos anéis de amostragem foi utilizada para uma caracterização do solo, consistindo em análise granulométrica pelo método da pipeta (Day, 1965; Embrapa, 1997), densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986b) e teor de matéria orgânica (Raij & Quaggio, 1983).

Para a obtenção da capacidade de campo e ponto de murcha do solo foram utilizadas as amostras indeformadas. Essas amostras foram saturadas em uma bandeja com água destilada por 48 horas, mantendo-se o nível d'água a 2/3 da sua altura. Completada a saturação, as amostras foram submetidas às tensões

de 6 kPa na unidade de sucção 1.500 kPa no extrator de Richards (Embrapa, 1997). Após o equilíbrio das amostras em cada tensão aplicada, essas foram pesadas. Nesse mesmo procedimento, após a aplicação da última tensão, foi determinada a densidade do solo (Embrapa, 1997).

Para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga, as amostras indeformadas com diferentes umidades foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, de acordo com Bowles (1986) modificado por Dias Junior (1994). Para a obtenção das diferentes umidades, as amostras indeformadas foram inicialmente saturadas e, a seguir, secas ao ar no laboratório. Então, após a obtenção da umidade desejada, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, utilizando-se um consolidômetro da marca Boart Longyear, por meio do qual as pressões foram aplicadas por meio de ar comprimido (Figura 4).

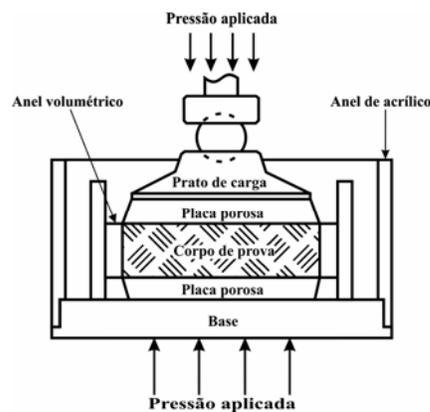


FIGURA 4. Célula de compressão uniaxial esquematizada.

Fonte: Adaptado de Kondo (1998)

As pressões aplicadas a cada amostra obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. Cada pressão foi aplicada até que 90% de deformação máxima fosse alcançada (Holtz & Kovacs, 1981) e, após essa condição ser alcançada, foi aplicada nova pressão. Após a liberação da pressão,

as amostras foram secas em estufa a 105°C -110°C, por 48 horas e determinada à massa seca do solo. A densidade do solo foi calculada de acordo com Blake & Hartge (1986a). Com a umidade gravimétrica e a densidade do solo, as pressões de preconsolidação foram obtidas de acordo com Dias Junior & Pierce (1995), a partir da curva de compressão do solo (Figura 5).

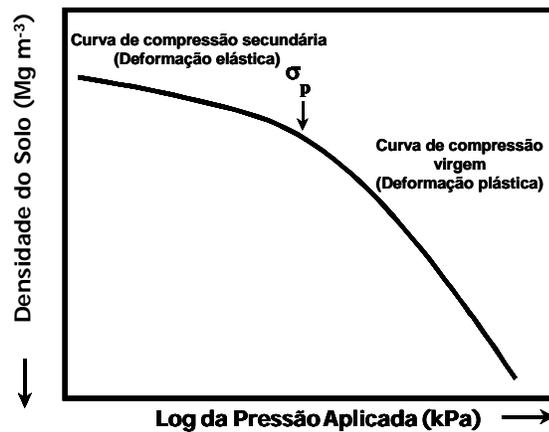


FIGURA 5. Curva de compressão do solo.

Fonte: Adaptado de Dias Junior (1994)

2.2 Análises estatísticas

As pressões de preconsolidação obtidas no ensaio de compressão uniaxial foram plotadas em função das diferentes umidades simuladas em laboratório, para a obtenção dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo. Por meio do uso do software Sigma Plot (2002), as equações matemáticas foram ajustadas utilizando-se o modelo da forma proposta por Dias Junior (1994), expresso pela equação $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$, em que σ_p é a pressão de preconsolidação; U é a umidade do solo e “a” e “b” são os coeficientes de ajuste de regressão, com os respectivos intervalos de confiança da população a 95%. Com a utilização desses intervalos de confiança, será possível avaliar as pressões de preconsolidação obtidas de outras populações diferentes daquela

usada na obtenção do modelo de capacidade de suporte de carga. As comparações das regressões foram feitas utilizando-se os procedimentos descritos por Snedecor & Cochran (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos de capacidade de suporte de cargas para os diferentes manejos encontram-se representados na Figura 6. Na Tabela 1 encontra-se o resumo da análise estatística (comparações das equações de regressões $\sigma_p = 10^{(a + bU)}$).

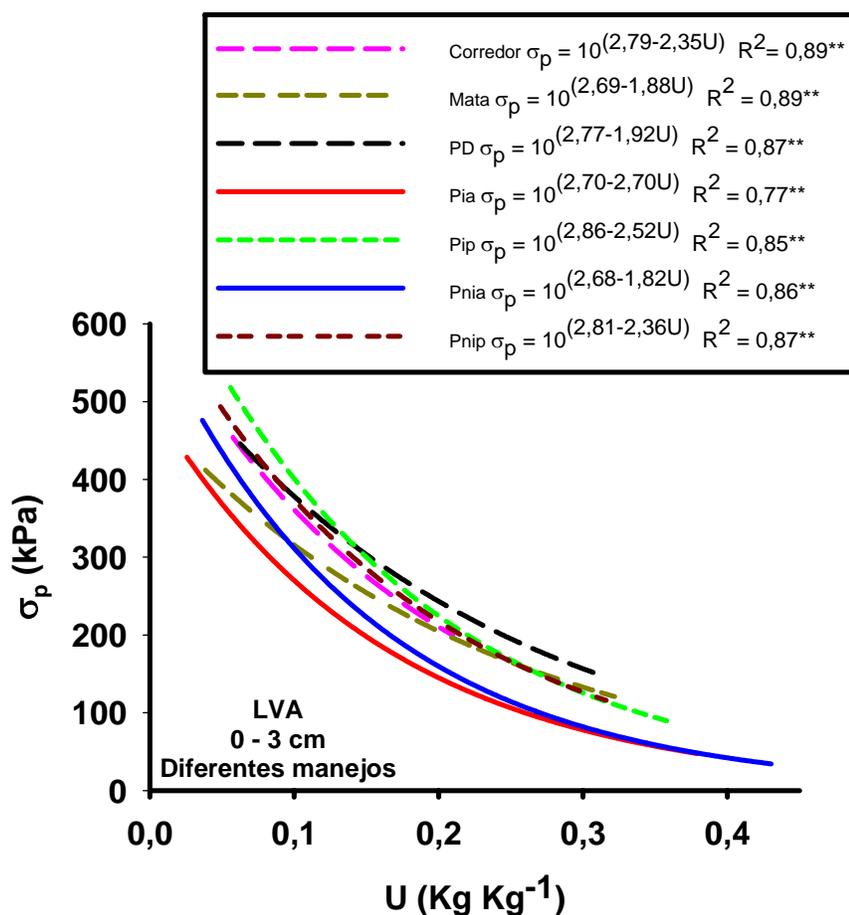


FIGURA 6. Modelos de capacidade de suporte de cargas do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos no município de Passos, MG, para a profundidade de 0-3 cm. PD: sistema plantio direto; Pia: pastagem irrigada antes do pisoteio animal; Pip: pastagem irrigada após o pisoteio animal; Pnia: pastagem não irrigada antes do pisoteio animal; Pnip: pastagem não irrigada após o pisoteio animal.

TABELA 3. Teste de significância descrito por Snedecor & Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$] de um Latossolo Vermelho-Amarelo (0-3 cm) para os diferentes usos.

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal (Pia) vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal (Pnia)	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal (Pia) e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal (Pnia) vs mata natural (MN)	NH	Ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip) vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip)	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip) e pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip) vs plantio direto (PD)	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip), pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip) e plantio direto (PD) vs corredor	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip), pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip), plantio direto (PD) e corredor vs mata natural (MN)	H	Ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip), pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip), plantio direto (PD) e corredor vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal.	NH	Ns	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Os modelos de CSC do LVAd para a pastagem irrigada antes do pisoteio animal (Pia) e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal (Pnia) não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3), sendo, portanto, uma nova equação ajustada a todos os valores de σ_p e U, obtendo-se, assim, um novo modelo de CSC para estes manejos ($\sigma_p = 10^{(2,73 - 2,73U)}$ $R^2 = 0,80^{**}$).

Comparando-se esse novo modelo de CSC com o modelo de CSC da área sob mata natural, nota-se que estes foram diferentes estatisticamente, sendo a CSC da mata superior ao das pastagens antes do pisoteio animal (Figura 6). Esse fato pode ser explicado pelo método de preparo de solo das pastagens que destruíram a estrutura destas áreas, deixando-as com menor CSC. Outro fato que pode explicar a maior CSC da mata é o maior teor de matéria orgânica, que atua como agente cimentante, promovendo a agregação do solo (Tabela 1).

As equações da CSC do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip) e pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip), não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3), sendo, portanto, uma nova equação ajustada a todos os valores de σ_p e U, obtendo-se, assim, uma nova equação de CSC para estes manejos (Figura 7).

Esse resultado pode ser explicado devido à elevada precipitação ocorrida no período de pisoteio animal, fazendo com que a área de pastagem não irrigada permanecesse durante um grande período com elevada umidade. Outro fato que pode explicar a igualdade dos modelos de CSC é o curto período de tempo pelo qual esse solo foi submetido ao pisoteio animal (seis meses). Resultados semelhantes foram encontrados por Lima (2004) quando o tempo de pisoteio ainda era pequeno.

Os modelos de CSC do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip) e pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip), comparadas com o plantio direto de milho, não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3),

sendo, portanto, uma nova equação ajustada a todos os valores de σ_p e U , obtendo-se assim um novo equação de CSC para esses manejos.

A igualdade dos modelos de CSC nesses manejos pode ser explicada pelo não revolvimento periódico do solo, o que preserva uma camada superficial com maior CSC, seja pelo pisoteio animal (Kondo, 1998), pelo tráfego de máquinas (Raper, 2005; Hanza & Anderson, 2005) ou pela consolidação da camada superficial, como no plantio direto (Assis & Lanças, 2005).

Os modelos de CSC do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip), pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip) e plantio direto de milho, quando comparados com o modelo de CSC do corredor de acesso aos piquetes não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 3). Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de σ_p e U , obtendo-se, assim, uma nova equação de CSC para esses manejos ($\sigma_p = 10^{(2,81 - 2,27U)}$ $R^2 = 0,85^{**}$) (Figura 7).

Os corredores de acesso aos piquetes sofrem maior e mais freqüente pisoteio animal, o que poderia promover uma maior CSC do solo. No entanto, esse comportamento não foi observado neste estudo, devido ao pouco tempo de pisoteio e a chuva elevada.

Comparando-se esse novo modelo de CSC com o modelo da área sobre mata natural, nota-se que esses foram diferentes estatisticamente, sendo a CSC da mata inferior à das pastagens após o pisoteio animal (Pnip e Pip), plantio direto e corredor (Figura 7). Como a mata natural é um referencial de qualidade estrutural, os manejos pastagem irrigada após o pisoteio animal (Pip), pastagem não irrigada após o pisoteio animal (Pnip), plantio direto de milho e corredor de acesso aos piquetes aumentaram a CSC do LVAd estudado, sendo, portanto manejos que podem degradar a estrutura do solo.

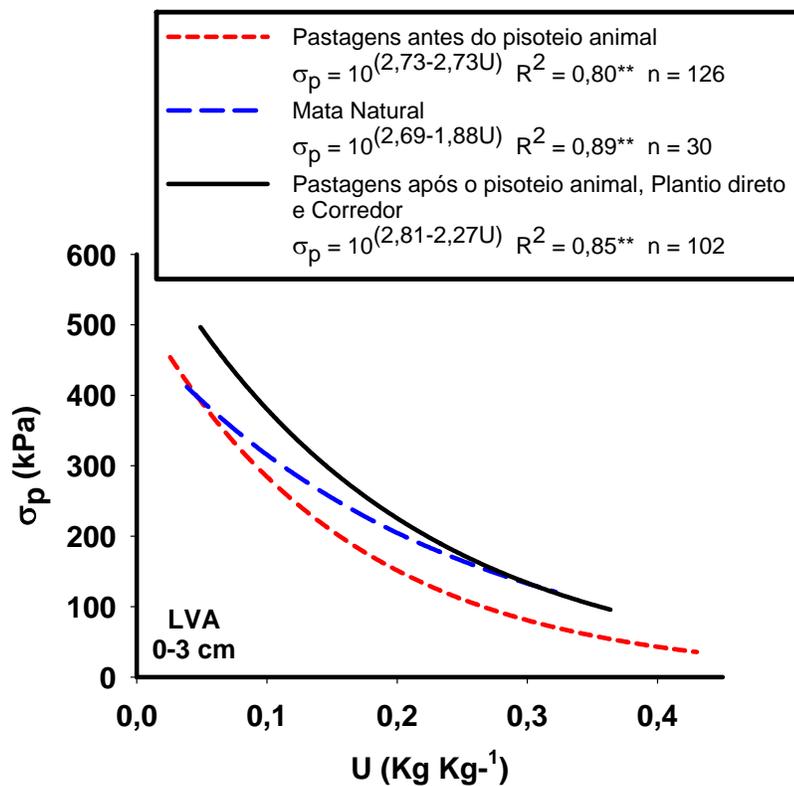


FIGURA 7. Modelos de capacidade de suporte de cargas entre os manejos, pip, pnip, PD e corredor; mata natural; e pia e pnia, na profundidade de 0-3 cm de um LVAd.

O modelo de CSC das pastagens após o pisoteio animal (Pip e Pnip) apresentou maior capacidade de suporte de carga, comparado com o modelo de CSC das pastagens antes do pisoteio animal (Pia e Pnia), em toda a faixa de umidade estudada (Figura 7). Isso comprova o efeito compactante do pisoteio animal na camada superficial do solo, podendo resultar em alteração da estrutura, selamento superficial e conseqüente aumento do índice de erosão e enxurrada pela baixa taxa de infiltração resultante dessa compactação. Pode-se citar, ainda, uma possível redução no desenvolvimento das forrageiras por falta de água ou pela alta resistência mecânica para o desenvolvimento do sistema radicular.

4 CONCLUSÕES

Os manejos pastagem irrigada e não irrigada, antes do pisoteio animal, geraram modelos de capacidade de suporte de cargas semelhantes e não alteraram a estrutura do solo, podendo esses modelos serem expressos pela equação $\sigma_p = 10^{(2,73 - 2,73U)}$.

Os manejos pastagem irrigada após pisoteio, pastagem não irrigada após pisoteio, plantio direto de milho e corredor de acesso aos piquetes geraram modelos de capacidade de suporte de cargas semelhantes e alteraram a estrutura do solo, podendo ser expressos pela equação $\sigma_p = 10^{(2,81 - 2,27U)}$.

O pisoteio animal após a colheita de milho em áreas sob plantio direto não causa compactação adicional, pois os manejos de pastagens após o pisoteio animal (Pip e Pnip) apresentaram o mesmo modelo de CSC da área de plantio direto de milho.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 507–514, 2005.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Res.**, v. 37, p. 743-760, 1999.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: ASA/SSSA, 1986a. Pt. 1. p. 363–375.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Partycle density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1.2 nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA. Madisson, WI, 1986b. p. 377-382.

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. Third edition. McGraw-Hill, 1986. 218p

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359p.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. Et. Al. (Ed). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. n. 1, Part I. P 545-567. (ASA. Monografhy of Agronomy, 9)

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114p. Tese (Doutorado)-Michigan State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M. de S.; LEITE, F. P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to *Eucalyptus* harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 248–255, May/June 2005.

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

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306 p.

FARIA, J. C.; SHAEFER, C. E. R.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 731–741, jul. 1998.

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 & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, p. 21–35, 1998.

GAGGERO, M. R.; TREIN, C. R.; IPPOLITI, G. Influencia de sistemas de preparo e pastejo nas características físicas do solo. **Revista de Programa de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 1, p. 1-16, 2002.

HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 2, p. 121-145, June 2005.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood, Cliffs: Prentice-Hall, 1981. 733p.

KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, novos desafios do carbono o manejo conservacionista, 16., 2006, Aracaju, SE. **Palestras...** Aracaju, SE: SBCS, 2006.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70p. Tese (Doutorado em solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

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 Soil Res.**, v. 52, p. 37-43, 2001.

OLIVEIRA, G. C. **Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de manejo por 20 anos no cerrado**. 2002. 78p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. de S. RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 291–299, fev. 2003.

PENG, S. H.; HORN, R. ZHANG, B. ZAHO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 125–137, 2004.

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 Soil Res.**, v. 44, p. 317-331, 1993.

RAJI, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico. 1983. 21 p. (Boletim Técnico, 81)

RAPER, D. L. Agricultural traffic impacts on soil. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 42, n.3/4, p. 259-280, July/Oct. 2005.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FERREIRA, F. P. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Solos, Sustentabilidade e Qualidade Estrutural, 30., 2005. **Palestras...** Recife, RE: SBCS, 2005.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**: versão 8.0. San Rafael: Jandel Corporation, 2002. Software.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 207–216, fev. 2006.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 239-249, abr./jun. 2000.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores Controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1–8, 2002.

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.85, p. 143–153, 2006.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8nded. Ames, Iowa: Iowa State University, 1989.

ZIMMER, A.; SILVA, M. P.; MAURO, R. Sustentabilidade e impactos ambientais da produção animal em pastagem. In: PEIXOTO, A. M.; MAURA, J. C.; PEDREIRA, C. G. S.; FARIA, V. P. **Inovações tecnológicas no manejo de pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2002. Cap. 2, p. 31-58.

CAPÍTULO 3

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS

RESUMO

PIRES, Bruno Silva. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. In: _____. **Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos**. 2007. Cap. 3, p.45-86. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.*

A compactação do solo tem sido apontada como um dos principais processos de redução da produtividade de diversas atividades agrícolas. Dentre as atividades afetadas, as que mais sofrem com esse problema são as que preservam a estrutura do solo, ou seja, as que não implicam em ter o preparo do solo anual. As pastagens que ocupam cerca de 20% do território nacional se enquadram nesta realidade, pois, na maioria das vezes, as operações de revolvimento do solo nessas atividades ocorrem em função da compactação superficial do solo seja pelo pisoteio animal. A resistência ao cisalhamento dos solos agrícolas e seus parâmetros podem nos auxiliar e somar as metodologias utilizadas para prever e monitorar a compactação. Este estudo foi realizado com os objetivos de: a) desenvolver envoltórias de resistência ao cisalhamento e obter seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nesses manejos. O estudo foi conduzido, no período de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2007, no município de Passos, MG, à latitude de 19°S e longitude 43°W de Greenwich. As áreas do estudo encontram-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 19°C, precipitação média anual de 1.709,4 mm e declividade média de 6%. Foram avaliados cinco manejos no solo em estudo, sendo: pastagens irrigadas antes (1) a após (2) o pisoteio animal, pastagens não irrigadas antes (3) e após (4) o pisoteio animal e mata nativa (5). As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de resistência ao cisalhamento. Determinaram-se também textura, matéria orgânica, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. As pastagens que sofreram o pisoteio animal apresentaram maior resistência ao cisalhamento. De forma geral, a presença de matéria orgânica aumentou a resistência ao cisalhamento. Os ensaios de resistência ao cisalhamento realizados em amostras com maior umidade avaliaram a estrutura do solo de modo semelhante aos modelos de capacidade de suporte de cargas. O ângulo de atrito interno (ϕ) foi mais eficiente para determinar uma maior ou menor resistência ao cisalhamento em solos agrícolas.

* Comitê Orientador: Dr. Moacir de Souza Dias Junior – UFLA (Orientador), Dr. Wellington Willian Rocha – UFVJM (Co-orientador).

ABSTRACT

PIRES, Bruno Silva. Shear strength of a Red-Yellow Latosol under different uses and managements. In: _____. **Shear strength and compressibility of a Latosol under different uses and weed management**. 2007. CAP. 3, p.45-86. Dissertation (Master Science in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras, MG, Brazil.

Soil compaction has been pointed out as one of the main process of yield reduction of several farming activities. Amongst the affected activities, the ones which suffer the most from this problem are those which preserve the soil structure, that is, the ones which do not imply in having the annual soil tillage. The grasslands that occupy about 20% of the national territory fit into this reality, so, most time, the plowing operations of soil in these activities occur as related to the surface compaction of soil whether by animal trampling whether by machine traffic. The shear strength of farming soils and its parameters can both aid and add to the methodologies used to foresee and to monitor compaction. This study was carried out with the objectives of: a) developing envelopes of shear strength and obtaining its parameters for the different management systems of a Red-Yellow Latosol; b) comparing the envelopes of shear strength and proposing a better soil use based on these managements. The study was conducted in the period of February of 2006 to February of 2007 in the town of Passos, MG, at latitude of 19°S and longitude of 43°W of Greenwich. The study areas are situated at an average altitude of 700 m, with annual average temperature of 19°C, annual average rainfall of 1,709.4 mm and average slope of 6%. Five managements in the soil under study were evaluated, namely, (1) grasslands irrigated before animal trampling (2) grasslands irrigated after animal trampling (3) grasslands not irrigated before animal trampling, (4) grasslands not irrigated after animal trampling and (5) natural woodland. The unaisturbed soil samples were utilized in the shearing strength trials. Texture, organic matter, field capacity and permanent wilting point were also determined. The grasslands which went through animal trampling presented greater shear strength. In general, the presence of organic matter increased shear strength. The shearing strength tests performed in soil samples with higher moisture content evaluated the soil structure in a similar way the load support capacity models. The angle of internal friction (ϕ) was more effective to determine a greater or lower shear strength in farming soils.

1 INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais ao longo do tempo sempre suscitou uma preocupação com questões exclusivamente sócio-econômicas, em detrimento, na maioria das vezes, das conseqüências ambientais inerentes da ação antrópica. Vários são os exemplos de momentos na história em que o homem, simplesmente preocupado com o desenvolvimento a todo custo, não pensou na conseqüência desses atos sobre o ecossistema do qual ele também faz parte e é dependente.

A pecuária brasileira se caracteriza por ter a maioria de seu rebanho criado em pastagens, que é a principal e mais econômica fonte de nutrientes para os bovinos. Mas, essas pastagens são, normalmente, de baixa qualidade devido às características dos solos, das espécies cultivadas e, principalmente, devido à falta de práticas, como adubação, uso de forrageiras adequadas, rodízio e taxa de lotação adequada, entre outras (Oliveira et al., 1999).

Particularmente no Brasil, a degradação de pastagens é considerada um dos maiores problemas da pecuária (Kichel et al., 1997). Estima-se que cerca de 80% dos 45 a 50 milhões de hectares da área de pastagens nos Cerrados do Brasil encontrem-se em algum estágio de degradação (Barcellos, 1996).

Diante desse panorama, fica clara a necessidade de uma utilização mais racional dos recursos naturais existentes, o que será possível somente por meio de uma melhor compreensão dos ecossistemas de pastagens, para que práticas de manejo e sistemas de produção animal possam ser idealizadas e implementadas sem colocar em riscos sua sustentabilidade e produtividade (Sbrissia & Silva, 2001).

A literatura sugere que o número de animais suportados pela pastagem deve ser em função da produtividade da forrageira utilizada e do tipo de manejo adotado, não levando em consideração se o solo suporta essa carga sem sofrer compactação adicional, principalmente em pastagem irrigada, na qual, normalmente, se aumenta o número de animais por hectare e o solo é mantido mais úmido com conseqüente menor capacidade de suporte de carga.

Em vista disso, melhorar e preservar a qualidade estrutural do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo são de fundamental importância quando se almejam maiores produtividades e preservação ambiental (Secco et al., 2005; Libardi & Fernandes, 2006).

A resistência do solo ao cisalhamento é uma importante propriedade dinâmica do solo, a qual vem sendo desconsiderada na maioria das pesquisas que investigam a influência do uso e manejo. Isso tem contribuído para a adoção de estratégias quase sempre equivocadas, tendo como conseqüência o depauperamento das propriedades físicas e mecânicas do solo (Silva et al., 2004).

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser usada como um indicador de compactação do solo (Ayers & Perumpral, 1982, Schjonning, 1991). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), devido à menor distância entre as partículas, o que confere, conseqüentemente, menor índice de vazios e um maior esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo.

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorre (Rocha, 2003). Pode ser expressa pela equação de Coulomb, $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$ (Ramamurthy, 2001), em que τ é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo, σ_n é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida, c é o intercepto de coesão ou coesão aparente do

solo e ϕ é o ângulo de atrito interno do solo, definido como sendo o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças que o maciço terroso está submetido. Essa equação define a envoltória de resistência, que é a linha limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer pressão cisalhante que esteja acima dessa linha promoverá a ruptura do solo (Rocha, 2003).

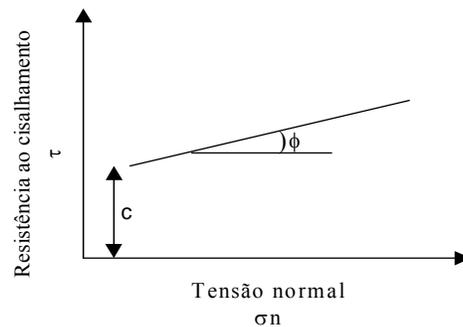


FIGURA 1. Envoltória de resistência.

Os parâmetros c e ϕ são características intrínsecas dos solos (Benjamim & Cruse, 1985; Ramamurthy, 2001; Zang et al., 2001).

Nesse estudo, a coesão determinada é a coesão aparente ou o intercepto de coesão (c). Esse parâmetro é uma parcela da resistência ao cisalhamento dos solos presente apenas em solos parcialmente saturados em consequência da maior ou menor tensão capilar (Pinto, 1989; Vargas, 1989; Azevedo, 1999). Saturando-se ou secando-se o solo totalmente, esse parâmetro desaparece, daí o nome aparente.

A coesão aparente do solo será tanto maior quanto maior for a proximidade das partículas desse solo (Pinto, 1989). Para maiores densidades do solo, esse parâmetro da resistência ao cisalhamento será também maior, desde que o solo não contenha quantidades expressivas de silte (Rocha et al., 2001). Em estudos de resistência ao cisalhamento e mecanização agrícola, correlações

positivas com a resistência do solo à penetração e à densidade do solo já foram obtidas, tanto para uma como para várias passadas de tratores na mesma linha de tráfego (Servadio et al., 2001; Zang et al., 2001), tendo os valores de resistência ao cisalhamento do solo aumentado com o aumento do número de passadas dos tratores. Portanto, modelos baseados na resistência ao cisalhamento do solo podem ser elaborados para prever a capacidade suporte de cargas do solo, uma vez que análises de tensões-deformações podem ser obtidas nesse tipo de ensaio.

Solos com maiores quantidades de areia apresentarão maiores resistências ao cisalhamento (Rocha et al., 2001), devido à capacidade dessas partículas de se rearranjarem de maneira mais densa quando submetidas a esforços externos, conferindo maiores densidades aos solos (Dias Júnior & Miranda, 2000), o que gera maior atrito entre as partículas e aumenta a resistência ao cisalhamento do solo. No caso de solos argilosos, o estudo da resistência ao cisalhamento torna-se mais complexo, pelo fato de essa fração ser a mais ativa do solo e os processos físicos e químicos, tais como sucessivas arações e gradagens, flutuação do lençol freático por meio de drenagens, adubações fosfatadas e calagem, que atuam no sentido de aumentar ou reduzir o contato entre partículas, conseqüentemente aumentarão ou reduzirão a resistência ao cisalhamento do solo.

Para Sidrorchuk et al. (2002), a umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar na resistência ao cisalhamento do solo, de forma que, para determinados valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, em função da menor densidade do solo conferida por esta, reduzindo, com isso, o contato entre as partículas. Por outro lado, também dependendo da umidade, a matéria orgânica presente no solo exerce funções físicas e químicas, que melhoram a estrutura do solo, resultando em um melhor desenvolvimento radicular que certamente influenciará no aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Assim, a resistência ao cisalhamento dos

solos é um parâmetro importante na caracterização das alterações da estrutura do solo (Cruse & Larson, 1977; Davies, 1985; Gantzer et al., 1987; Servadio et al., 2001). Uma vez que a maioria dos solos agrícolas é cultivada com baixos teores de matéria orgânica (Ekwue & Stone, 1995) e na umidade inadequada (Silva et al., 2002), a variação da resistência ao cisalhamento com os teores de matéria orgânica deve ser mais bem estudada. Isso porque, além do efeito direto na estruturação dos solos, a matéria orgânica, juntamente com a mineralogia, é o principal agente que incrementa a capacidade de troca de cátions e que garante uma boa condição de fertilidade química dos solos (Lopes, 1996) o que, de certa forma, pode permitir a correta especificação do equipamento a ser utilizado no seu preparo.

O gado pode exercer pressões no solo da ordem de 350 a 400 kPa (Proffitt et al., 1993; Betteridge et al., 1999). Nie et al. (2001) indicaram, ainda, que a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados. Nas pastagens, o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (Kondo, 1998).

Com base nesses fatores, o presente estudo foi realizado com os seguintes objetivos: a) obter envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo de um Latossolo Vermelho-Amarelo; b) comparar as envoltórias de resistência ao cisalhamento e propor melhor utilização do solo baseado nestes manejos e c) identificar os sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido, no período de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2007, na Fazenda Experimental da Universidade do Estado de Minas Gerais, Passos, MG, à latitude de 19°S, e longitude 43°W de Greenwich.

As áreas do estudo situam-se a uma altitude média de 700 m, com temperatura média anual de 18°C a 20°C e precipitação média anual de 1.709,4 mm.

O relevo é suave ondulado em grandes extensões com declividade média de 6%. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média A moderado (Embrapa, 2006).

TABELA 1. Caracterização física e matéria orgânica do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd) localizado na Fazenda Experimental da FESP/UEMG, sob diferentes manejos na profundidade de 0-0,05 m

anejos	Argila	Areia	Silte	MO	CC	PMP	Dp	Ds
	-----g kg ⁻¹ -----				---- kg kg ⁻¹ ----		---- Mg m ⁻³ ---	
a	280	620	100	20	0,22	0,13	2,64	1,34
ia	280	610	110	19	0,23	0,15	2,65	1,28
p	280	620	100	16	0,26	0,16	2,64	1,35
ip	270	620	110	20	0,24	0,15	2,65	1,38
ata	270	600	130	27	0,25	0,15	2,64	1,30

Pia: pastagem irrigada antes do pisoteio animal; Pina: pastagem não irrigada antes do pisoteio animal; Pip: pastagem irrigada após o pisoteio animal; Pnip: pastagem não irrigada após o pisoteio animal; MO: matéria orgânica; CC: capacidade de campo (amostras submetidas ao potencial mátrico (ψ) de -6 kPa); PMP: ponto de murcha permanente (amostras submetidas ao potencial mátrico (ψ) de -1500 kPa); Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo.

TABELA 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) localizado na fazenda Experimental da FESP/UEMG.

Profundidade (cm)	SiO ₂	Al ₂ O	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr
	-----%-----						
20-40	8,36	11,83	5,95	1,37	0,04	1,21	0,91

Ki = relação molecular SiO₂/Al₂O₃; Kr = relação molecular SiO₂/Al₂O₃ + Fe₂O₃

O experimento foi implantado em uma área de 6 ha, dos quais 2 ha serão de pastagem irrigada, 2 ha de pastagem não irrigada e 2 ha de mata natural.

Os 4 ha de pastagem (*Brachiaria bizanta* cv. Vitória) estão divididos em 32 piquetes ao todo (16 piquetes irrigados e 16 piquetes não irrigados), para condução de pastejo rotacionado de novilhos da raça nelore. As divisões são com cercas energizadas com eletrificadores ligados à rede elétrica e a um painel solar. A água e o sal mineral eram fornecidos à vontade, em uma área de lazer. Esta área foi recentemente arada e gradeada para a implantação da pastagem (um ano antes da entrada dos animais), sendo a pastagem irrigada com uma pressão de pastejo de 5 unidades animais por hectare, período de ocupação de 2 dias, período de descanso de 32 dias e manejo da irrigação descrito no capítulo 2. A pastagem não irrigada recebeu o mesmo manejo da área irrigada, no entanto não recebeu a irrigação.

A área de mata natural (2 ha) situa-se abaixo da área de pastagem irrigada.

2.1.Amostragem

Na área de pastagem foram coletadas amostras deformadas de solo as quais seguiram as recomendações para o estado de Minas Gerais (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, CFSEMG, 1999) para as correções e adubações de plantio e de cobertura.

A profundidade de coleta das amostras indeformadas foi definida após serem obtidos os valores de resistência à penetração do solo na capacidade de campo em pequenas trincheiras de 40 cm de profundidade, em uma área vizinha de mesma classe de solo com pastagem e pisoteio animal há vários anos. Foi, então, escolhida a profundidade de máxima resistência mecânica à penetração (0-5 cm), adotando-se essa profundidade como sendo a mais afetada pelo pisoteio animal.

Em cada condição de manejo apresentado na Tabela 1, foram coletadas, aleatoriamente, nas profundidades 0-0,03 m, 32 amostras indeformadas, totalizando 160 amostras [32 amostras x 5 manejos]. As amostras indeformadas foram coletadas utilizando-se amostradores especialmente desenvolvidos para ensaios de cisalhamento direto em anéis quadrados com dimensões de 5,95x 5,95 cm e 2,2 cm de altura (Rocha, 2003).

Em cada ponto de amostragem foram coletadas quatro amostras (Figura 2), para que se pudesse construir a envoltória de cisalhamento, pois, após esse ensaio a estrutura da amostra é comprometida e necessita-se da realização do ensaio com quatro tensões diferentes para se construir a envoltória. Assim, cada amostra desse conjunto foi submetida ao ensaio de cisalhamento com diferentes tensões normais na mesma umidade.

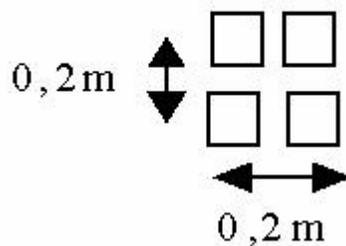


FIGURA 2. Esquema de coleta das amostras.

Após a coleta, as amostras indeformadas foram embaladas em filme plástico e, posteriormente, parafinadas e identificadas. A utilização do filme plástico e a parafina garantem que a estrutura da amostra seja preservada até a realização dos ensaios. O volume da amostra é correspondente ao volume do anel, sendo necessário, para o seu preparo, retirar as partes excedentes das superfícies.

A parte de descarte das amostras indeformadas oriundas das partes superiores e inferiores dos anéis de amostragem foi utilizada para uma caracterização do solo, consistindo em análise granulométrica pelo método da pipeta (Day, 1965; Embrapa, 1997), densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986) e teor de matéria orgânica (Raij & Quaggio, 1983).

Para a obtenção da capacidade de campo e do ponto de murcha do solo foram utilizadas as amostras indeformadas e os procedimentos descritos no capítulo 2 (Embrapa, 1997).

As amostras de solo, antes de serem submetidas ao ensaio de cisalhamento direto, foram saturadas e equilibradas em três tensões além das saturadas. Foram utilizadas 16 amostras por tensão (16 amostras a 2 kPa, 16 amostras a 6 kPa, 16 amostras a 1.500 kPa e 16 amostras saturadas). Essas tensões foram escolhidas pelo fato de um dos manejos estudados ser irrigado, no qual, teoricamente, a umidade é mantida próximo à capacidade de campo. O ponto de murcha permanente dá uma amplitude do estudo dentro do conceito de água disponível e a saturação se deve ao fato de o município de Passos ter uma boa distribuição pluviométrica, sendo, portanto, observada essa umidade em determinadas épocas do ano.

Foi utilizada, no ensaio de cisalhamento direto, uma prensa de cisalhamento fabricada pela ELE International (Digital Shear Machine, 26-112 - 9901X0089). O equipamento operou com velocidade de deslocamento

horizontal de $3,33 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ e tensões normais de 194, 304, 415 e 526 kPa. A escolha dessas tensões normais foi em função de um experimento no qual se obteve a área do casco dos animais utilizados na pastagem (moldes de gesso) e o peso destes animais (balança digital). Para se saber a tensão aplicada pelo animal no solo, foi dividido o peso animal pela área do casco, obtendo-se uma tensão média de 280 kPa.

O ensaio de cisalhamento direto consiste na obtenção da força cisalhante em apenas uma direção. O equipamento (Figura 3) possui uma caixa separada em duas partes, sendo uma superior e outra inferior. A parte superior se mantém fixa enquanto a inferior se desloca horizontalmente com velocidade constante. A amostra indeformada de solo é colocada na caixa de cisalhamento, onde também há uma placa porosa no fundo da caixa e outra sobre a amostra. A função dessas placas porosas é a de promover a drenagem, uma vez que, nesse tipo de ensaio, as tensões neutras não são quantificadas.

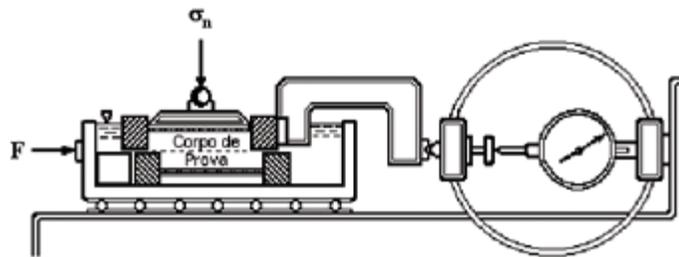


FIGURA 3. Representação esquemática do ensaio de cisalhamento direto.

A superfície de contato entre a amostra de solo e as pedras porosas possui ranhuras, o que impede o deslizamento da amostra durante o ensaio.

O primeiro passo para a realização do ensaio é a aplicação de uma força vertical a qual, dividida pela área de contato, fornece a tensão normal. A seguir,

passa-se a aplicar uma força horizontal crescente em uma das extremidades da caixa, provocando o deslocamento de uma parte em relação à outra. O esforço resistente a esse deslocamento é a sua resistência ao cisalhamento em função da força vertical aplicada.

O resultado do ensaio é registrado numérica e graficamente pela variação da tensão de cisalhamento em função da deformação (Terzaghi et al., 1997).

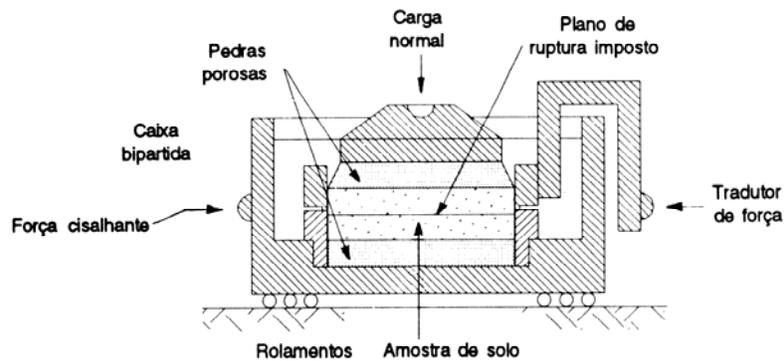


FIGURA 4. Caixa de cisalhamento utilizada em ensaios de cisalhamento direto.

A tensão de cisalhamento da ruptura é geralmente considerada como a maior tensão de cisalhamento resistida pelo corpo de prova. A tensão normal e a tensão de cisalhamento na ruptura determinam a envoltória de resistência. Essa envoltória pode ser determinada pelos resultados de uma série de ensaios de cisalhamento direto, com diferentes tensões normais.

Dessa forma, as envoltórias de resistência ao cisalhamento foram obtidas pela combinação dos pares de dados: tensões cisalhantes obtidas pela prensa e tensões normais, estabelecidas antes do início do ensaio.

A calibração do equipamento consistiu de: colocação do braço de alavanca, onde são aplicadas as cargas verticais na horizontal com a finalidade de evitar possíveis variações angulares quando da aplicação das cargas e a calibração do anel dinamométrico. A constante do anel dinamométrico também

foi aferida para diferentes cargas aplicadas, uma vez que esse valor influencia no cálculo e na correção da força horizontal aplicada na amostra de solo. Após a determinação da tensão cisalhante máxima e da tensão normal aplicada, as envoltórias de resistência foram traçadas, obtendo-se o intercepto de coesão e o ângulo de atrito interno do solo em cada manejo estudado.

2.2 Análises estatísticas

As envoltórias de resistência foram geradas com o auxílio do software Sigma Plot (2002) e as comparações dessas envoltórias foram feitas segundo o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do solo em estudo em diferentes tensões de retenção de água e nos diferentes manejos estão representadas nas Figuras 5 a 12. Na Figura 5 são apresentadas as envoltórias de resistência ao cisalhamento, após serem equilibradas na tensão de 1.500 kPa, para os diferentes manejos.

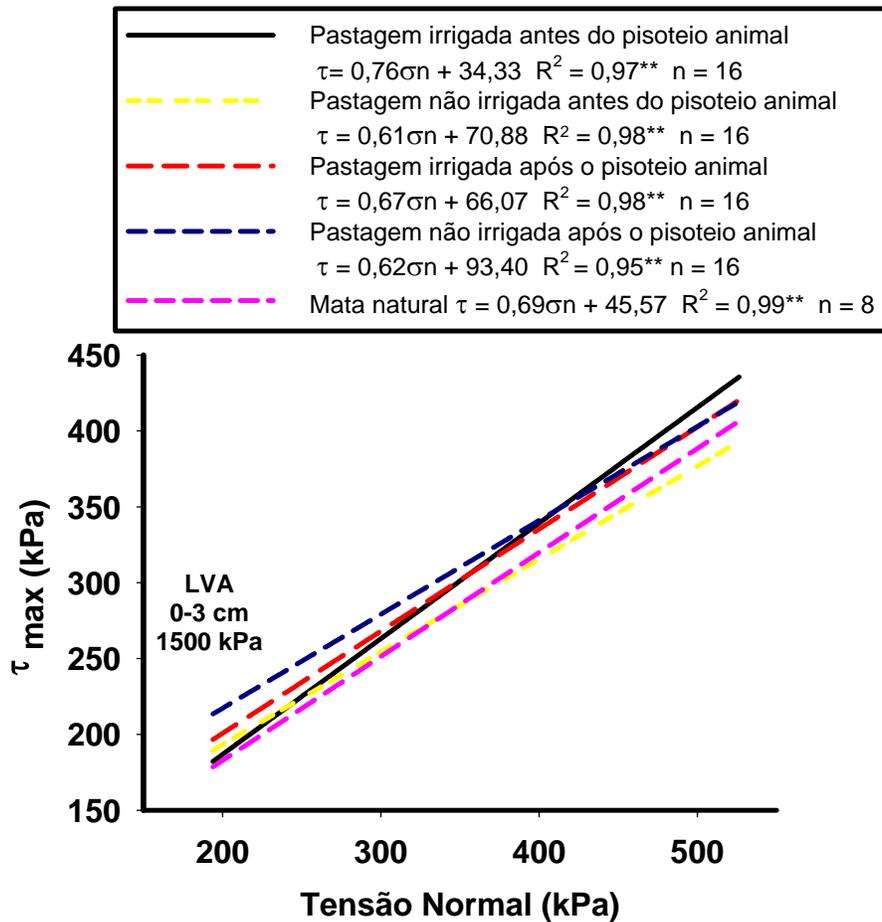


FIGURA 5. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 1.500 kPa.

Na Tabela 3 é apresentado o resumo da análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA a 1.500 kPa, nos diferentes manejos.

TABELA 3. Teste de significância de acordo com Snedecor & Cochran (1989) entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a 1.500 kPa.

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada após o pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal vs mata	NH	Ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	**	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	**	Ns
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs mata	NH	Ns	*
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs mata	NH	Ns	Ns

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3). Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se assim uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para estes manejos.

Todos os outros manejos diferiram estatisticamente entre si, estando o solo sob tensão de água de 1.500kPa (Tabela 3).

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representadas na Figura 6.

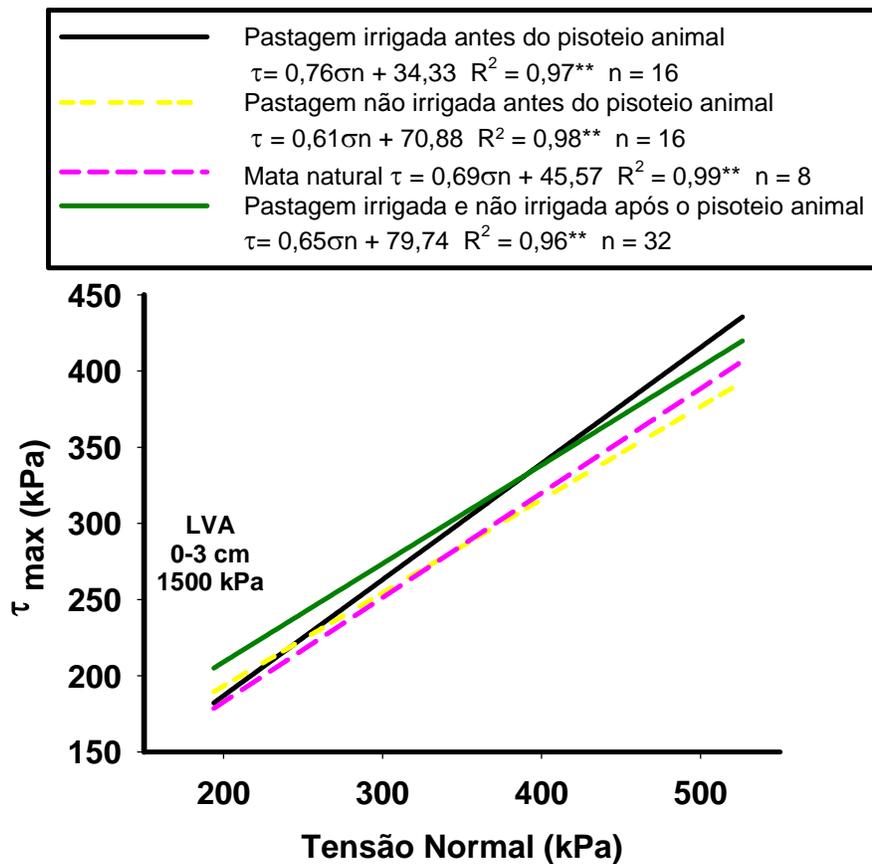


FIGURA 6. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 1.500 kPa.

TABELA 4. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de 1.500 kPa.

Manejos	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal	37,23	34,33
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	31,38	70,88
Mata natural	34,61	45,57
Pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal	33,02	79,44

A mata natural apresentou menor resistência ao cisalhamento (Figura 6), em relação às pastagens, após o pisoteio animal. Essa menor resistência observada é indicativo de que os demais manejos causam alteração na estrutura do solo. A explicação pode ser devido ao fato de esse manejo apresentar um dos menores valores de coesão aparente (c) e menores valores de ângulo de atrito interno (ϕ) (Tabela 4). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), devido à menor distância entre as partículas, o que confere, conseqüentemente, menor índice de vazios e um maior esforço, por exemplo, para se preparar o solo para o cultivo.

As pastagens irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal diferiram estatisticamente entre si (Tabela 3), tendo a pastagem irrigada antes do pisoteio animal apresentado maior resistência ao cisalhamento (Figura 6) e maior ângulo de atrito interno (Tabela 4), em relação à pastagem não irrigada antes do pisoteio animal.

As pastagens, irrigada e não irrigada, antes do pisoteio animal, foram diferentes estatisticamente da mata natural (Tabela 3). A pastagem não irrigada antes do pisoteio animal apresentou maior resistência ao cisalhamento nas tensões normais inferiores, invertendo esse comportamento a partir de tensão normal de 350 kPa. Já a pastagem irrigada antes do pisoteio animal apresentou resistência ao cisalhamento igual à mata natural nas primeiras tensões normais e, nas tensões normais seguintes, maior resistência ao cisalhamento (Figura 6).

A pastagem irrigada antes do pisoteio animal não gerou uma maior resistência ao cisalhamento quando a tensão normal utilizada foi pequena (194 kPa), como pode ser observado na Figura 6. No entanto, quando se utilizaram tensões normais maiores (304, 415, e 526 kPa), as forças de adesão e de coesão atuaram conferindo maior resistência ao cisalhamento. Esse dado é de suma importância quando se trata da criação de bezerros em pastagens irrigadas, pois a tensão normal, nesse caso, é pequena (tensão aplicada pelo animal ao solo) e o solo mais úmido tende a ser mais solto e ter suas partículas mais facilmente movimentadas, favorecendo ao cisalhamento. Portanto, tem uma menor resistência ao cisalhamento até quando comparado com pastagem não irrigada (Figura 6).

Nessa situação, atenção maior deve ser dada para se evitar esse cisalhamento. Pois, caso ele ocorra, fatalmente gerará um selamento superficial, comprometendo o desenvolvimento da pastagem, seja pela maior resistência encontrada para o desenvolvimento do sistema radicular ou pela baixa taxa de infiltração de água que diminui o aproveitamento da água proveniente das

precipitações ou irrigações, além de aumentar o volume da enxurrada, favorecendo os processos erosivos e a maior degradação da área, podendo inviabilizar a atividade.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento, obtidas após as amostras serem equilibradas na tensão de 6 kPa para os diferentes manejos, estão representadas na Figura 7.

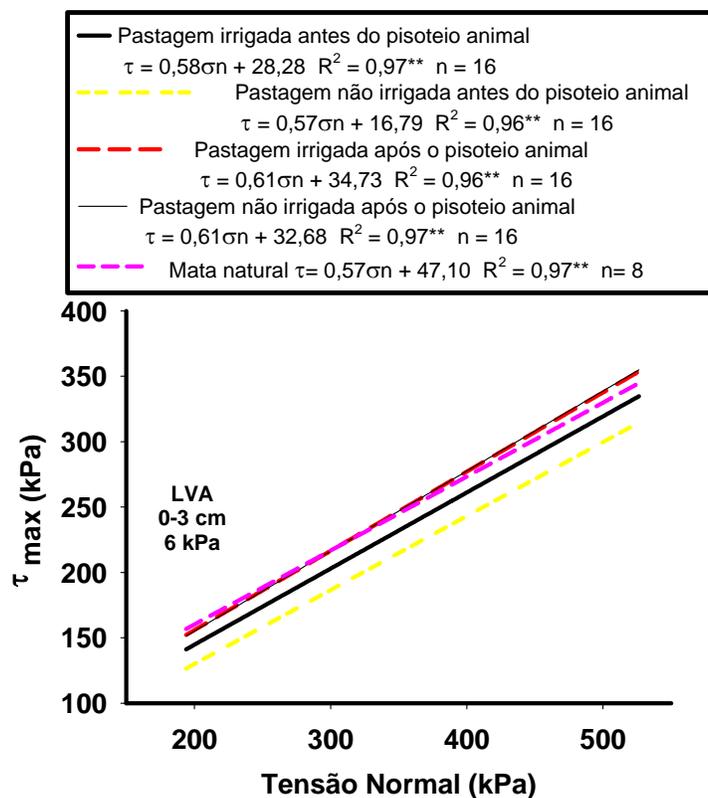


FIGURA 7. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAD submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 6 kPa.

Na Tabela 5 é apresentada a análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAD a 6 kPa nos diferentes manejos.

TABELA 5. Teste de significância de acordo com Snedecor & Cochran (1989) entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras na capacidade de campo (6 kPa).

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs mata	H	Ns	*
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs mata	H	Ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal vs mata	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e mata vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e mata vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal, mata e pastagem não irrigada após o pisoteio animal vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	Ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal, mata e pastagem não irrigada após o pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	Ns	**

Pela Tabela 5 observa-se que as envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para as pastagens irrigada e não irrigada, após o pisoteio

animal, não diferiram estatisticamente entre si. Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos. Tal fato pode ser explicado por precipitações freqüentes ocorridas no período do estudo que, possivelmente, mantiveram elevada a umidade do solo. Esse fato também foi observado nos modelos de CSC apresentados no capítulo 2. Se houve alguma alteração estrutural devido ao pisoteio na pastagem irrigada, essa alteração não foi detectada na umidade correspondente à capacidade de campo.

Na capacidade de campo, a mata natural não se diferenciou estatisticamente das pastagens após o pisoteio animal (Tabela 5). Esse fato indica que não ocorreu degradação da estrutura após o pisoteio animal (Figura 8). Deve-se ressaltar que isso ocorreu no primeiro ano de exploração, não tendo sido, portanto, o pisoteio suficiente para induzir maior resistência mecânica na pastagem do que na mata.

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representadas na Figura 8.

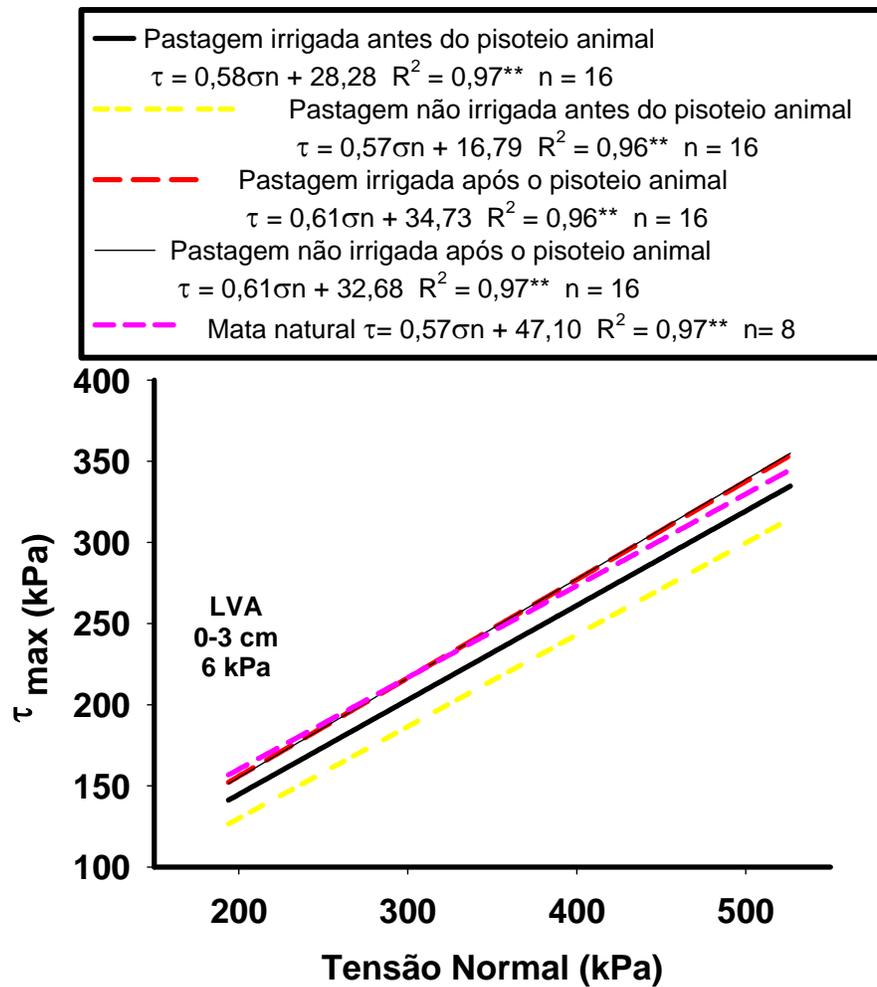


FIGURA 8 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 6 kPa.

TABELA 6. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de 6 kPa.

Manejos	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal	30,11	28,88
Pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	29,68	16,79
Mata natural e pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal	30,97	36,38

As pastagens, irrigada e não irrigada, antes do pisoteio animal, também diferiram estatisticamente entre si na tensão de 6 kPa (Tabela 5). Pela Tabela 6 e Figura 8, pode-se observar que a ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: (mata natural e pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal) > pastagem irrigada antes do pisoteio animal > pastagem não irrigada antes do pisoteio animal. Essa diferença entre os manejos pode ser observada pelo maior ângulo de atrito interno e maior intercepto de coesão da mata natural e pastagens após o pisoteio animal, quando comparados com as pastagens antes do pisoteio animal (Tabela 6), pois, quanto maior o ângulo de atrito interno, maior é a força necessária para cisalhar uma amostra.

A matéria orgânica presente na mata para a tensão de retenção de água na capacidade de campo favoreceu o atrito entre as partículas do solo pelo seu efeito cimentante, colocando esse manejo entre os de maior resistência ao cisalhamento.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento, após serem equilibradas na tensão de 2 kPa para os diferentes manejos, estão representadas na Figura 9.

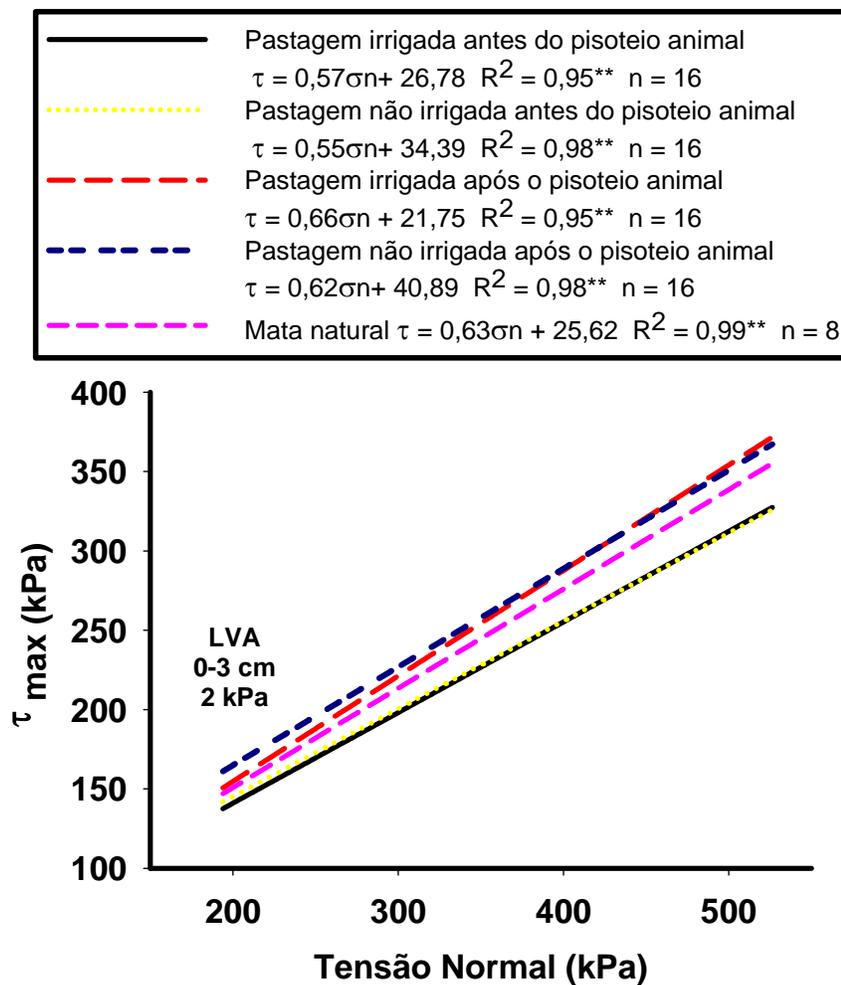


FIGURA 9. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 2 kPa.

Na Tabela 7 é apresentada a análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd a 2 kPa nos diferentes manejos.

TABELA 7. Teste de significância, de acordo com Snedecor & Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob tensão de água no solo de 2 kPa.

Manejo	F	F	
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
Pastagem irrigada após o pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal vs mata	H	ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal e mata vs pastagem irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	**
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal e mata vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	NH	*	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	ns	Ns
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal e mata	H	ns	**

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 7). Portanto, uma nova equação

foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos (Figura 10).

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representadas na Figura 10.

Sabe-se, no entanto, que o solo de área sobre irrigação fica constantemente com maior umidade, ficando, assim, mais suscetível à compactação. No entanto, fica claro que, devido a precipitações freqüentes no período deste estudo, ocorreu igualdade das umidades nestas áreas, o que contribuiu para a não diferença estatística entre os solos sob pastagem irrigada e não irrigada após o pisoteio animal.

A mata natural não diferiu estatisticamente das pastagens após o pisoteio animal (Tabela 7). Na umidade correspondente à tensão estudada, a mata aparece como um dos usos de maior resistência ao cisalhamento. A matéria orgânica do solo, promovendo uma maior estruturação do solo sob mata (Tabela 1), pode ter contribuído para a sua maior resistência.

A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: (pastagem irrigada e não irrigada pós pastejo e mata) > (pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal) (Tabela 8). Mais uma vez, nota-se que o pisoteio animal contribuiu para um aumento na resistência ao cisalhamento do solo, devido à compressão do solo causada pelo pisoteio dos animais.

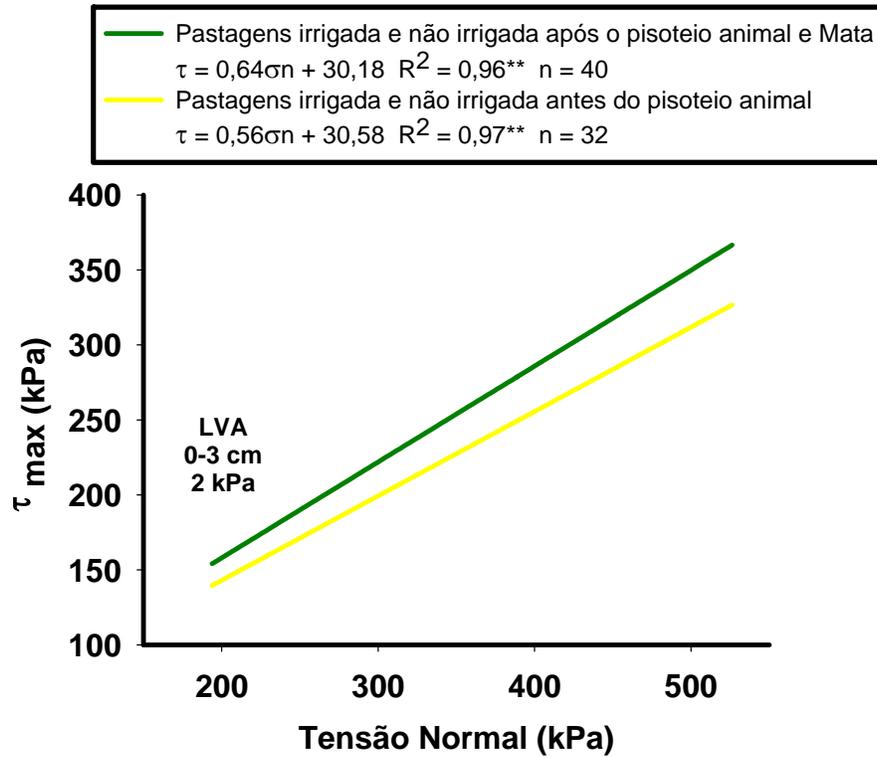


FIGURA 10 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras equilibradas a 2 kPa.

TABELA 8. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras submetidas à tensão de 2 kPa.

Manejo	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	29,25	30,58
Mata natural e pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal	32,62	30,18

Essa menor resistência apresentada pelos manejos antes do pisoteio animal é explicada pelo preparo de solo (aração e gradagem) para implantação das pastagens que apagaram a história de tensão, diminuindo a pressão de preconsolidação e aumentando o espaço poroso do solo nesses manejos. Essa igualdade entre as pastagens antes do pisoteio animal também foi observada utilizando modelos de CSC no capítulo dois.

As envoltórias de resistência ao cisalhamento, obtidas para as amostras saturadas para os diferentes manejos, estão representadas na Figura 11.

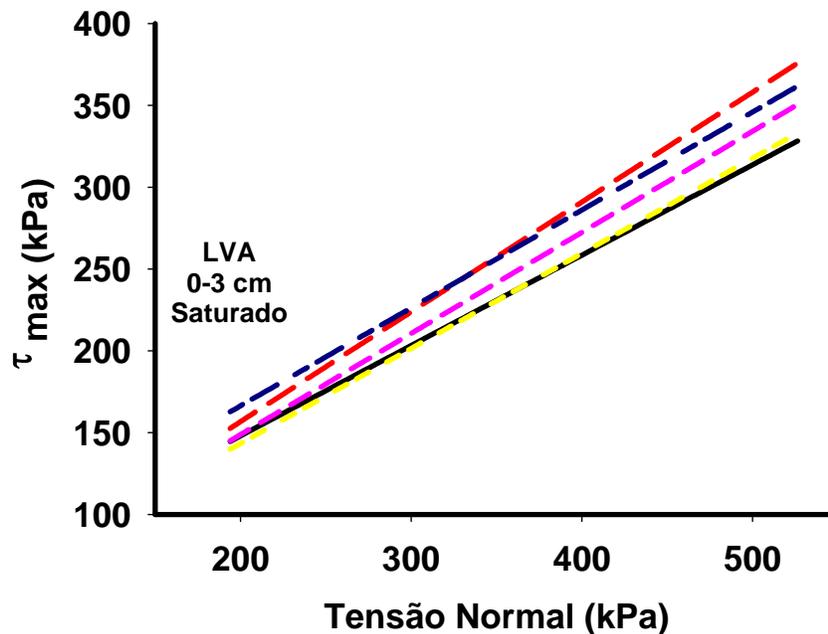
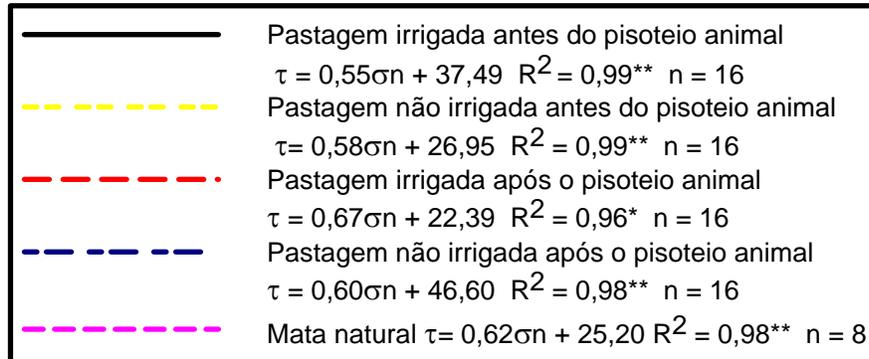


FIGURA 11. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras saturadas.

Na Tabela 9 é apresentada a análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd saturado nos diferentes manejos.

TABELA 9. Teste de significância, de acordo com Snedecor & Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo saturado.

Manejo	F	F	
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
Pastagem irrigada após o pisoteio animal vs pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal vs mata	H	Ns	*
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem não irrigada antes do pisoteio animal	H	Ns	Ns
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal	H	**	**
Pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal vs mata	H	Ns	**

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVAd para a pastagem irrigada após o pisoteio animal e pastagem não irrigada após o pisoteio animal não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 9). Portanto, uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se, assim, uma nova envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos (Figura 12). Por não diferirem estatisticamente entre si, os manejos pastagem irrigada antes do pisoteio animal e pastagem não irrigada antes do pisoteio animal, também uma nova equação foi ajustada a todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal e uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para esses manejos foi obtida.

A não diferença entre os tratamentos com e sem irrigação se deve a freqüentes precipitações durante o período de condução do experimento, o que contribui para que não ocorra alteração estrutural nesse uso. Esse fato também foi observado nos modelos de CSC apresentados no capítulo 2. O alívio da resistência mecânica promovido pela saturação induzida contribuiu para que a resistência ao cisalhamento fosse estatisticamente igual entre os tratamentos com e sem irrigação. A ordem decrescente de resistência ao cisalhamento foi: (pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal)>(mata natural)>(pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal) (Tabela 10).

As novas envoltórias de resistência ao cisalhamento estão representadas na Figura 12.

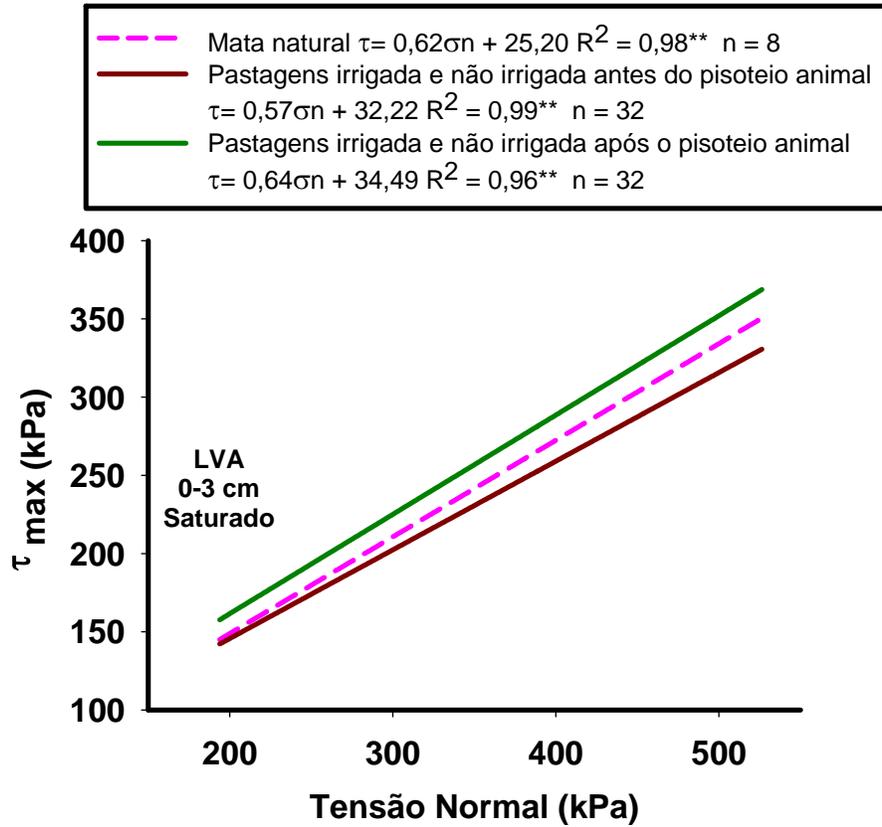


FIGURA 12. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes manejos, com amostras saturadas.

TABELA 10. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto com amostras saturadas.

Manejo	Ângulo de atrito interno (ϕ)	Coesão aparente (c) (kPa)
Pastagem irrigada e não irrigada antes do pisoteio animal	29,68	32,22
Mata natural	31,80	25,20
Pastagens irrigada e não irrigada após o pisoteio animal	32,62	34,49

A envoltória de resistência ao cisalhamento antes do pisoteio animal (Figura 12 e Tabela 10) mostrou que o solo apresentou resistência ao cisalhamento menor do que o solo após o pisoteio animal, enquanto a mata apresentou resistência intermediária. Esse comportamento pode ser devido à compactação superficial nas pastagens que sofreram o pisoteio. A mata apresenta maior conteúdo de matéria orgânica, o que, de certa forma, confere melhor estruturação, proporcionando resistência intermediária. Essa menor resistência do solo antes do pisoteio é explicada pelo preparo de solo (aração e gradagem) para a implantação das pastagens que apagaram a história de tensão, diminuindo a pressão de preconsolidação (capítulo 2).

A igualdade entre as pastagens antes do pisoteio animal também foi observada utilizando-se modelos de CSC no capítulo dois.

A resistência ao cisalhamento das amostras saturadas apresentou comportamento idêntico aos modelos de CSC do capítulo dois. Considerando a mata nativa como referencia de qualidade estrutural, as pastagens após o pisoteio apresentaram maior resistência ao cisalhamento sendo, portanto, considerada um manejo que altera a estrutura do solo. Já as pastagens antes do pisoteio apresentaram menor resistência ao cisalhamento devido às operações de preparo do solo.

Neste estudo observou-se que o ângulo de atrito interno (ϕ) é o parâmetro que condiciona maior ou menor resistência ao cisalhamento.

À medida que se aumentou a umidade nos ensaios de resistência ao cisalhamento, o resultado da avaliação da estrutura ficou mais semelhante à avaliação feita com o uso da pressão de preconsolidação.

4 CONCLUSÕES

As pastagens que sofreram o pisoteio animal apresentaram maior CSC e maior resistência ao cisalhamento.

Os ensaios de resistência ao cisalhamento realizados com maior teor de umidade apresentaram resultados de avaliação de estrutura semelhantes aos modelos de capacidade de suporte de cargas.

O ângulo de atrito interno (ϕ) foi eficiente para determinar maior ou menor resistência ao cisalhamento em solos agrícolas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index. Trans. **American Science Agricultural Eng.**, v.21, p. 1169-1172, 1982.

AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa - MG.** 1999. 169p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BARCELLOS, A. O. Sistemas extensivos e semi-intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. BIODIVERSIDADE E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE ALIMENTOS E FIBRAS NOS CERRADOS, 1996, Brasília. **Anais...** Brasília, 1996. p. 130-136.

BENJAMIN, J. G.; CRUSE, R. M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. **Soil Science Society of American Journal**, v. 49, p.1248-1251, 1985.

BETTERIDGE, K.; MACKAY, A. D.; SHEPHERD, T. G.; BARKER, D. J.; BUDDING, P. J.; DEVANTIER, B. P.; COSTALL, D. A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Australian Journal Soil Res.**, v. 37, p. 743-760, 1999.

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

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG, 1999. 359p.

CRUSE, R. M.; LARSON, W. E. Effects of soil shear strength on soil detachment due to rain drop impact. **Soil Science Society of American Journal**, v. 41, p. 777-781, 1977.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. Et. Al. (Ed). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. n. 1, Part I. P 545-567. (ASA. Monography of Agronomy, 9)

DAVIES, P. Influence of organic matter, moisture status and time after reworking on soil shear strength. **Journal of Soil Science**, v. 36, n. 2, p. 299-306, 1985.

DIAS, JUNIOR. M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras - MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, p. 337-346, 2000.

EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of impacted agricultural soils. **Trans. American Science Agricultural Eng.**, v. 38, p. 357-365, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS, 2006. 306 p.

GANTZER, C. J.; BUYANOVSKY, G. A.; ALBERTS, E.; REMLEY, P. A. Effects of soybean and crop residue deposition on soil strength and splash detachment. **Soil Science Society of American Journal**, v. 51, p. 202-206, 1987.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Fatores de degradação de pastagem sob pastejo rotacionado em ênfase na fase de implantação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 193-211.

KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95p. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: novos desafios do carbono o manejo conservacionista, 16., 2006, Aracaju. **Palestras...** Aracaju, SE: SBCS, 2006.

LOPES, J. A. U. **Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/ corretivos da engenharia civil: recuperação de áreas degradadas**. III Curso de atualização. Curitiba, UFPR, PR: 1996. p. 59-81.

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 Soil Res.**, v. 52, p. 37-43, 2001.

OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J.; SANTOS, R. S. M.; MAGNABOSCO, C. U.; FERNANDES, A. **Desempenho animal sob os diferentes manejos das pastagens: modelos de sistemas de produção.** Uberaba: ABCZ/FAZU, 1999. p. 85-93. (Apostila do Curso de Atualização por Tutoria à Distância, 6).

PINTO, C. S. **Resistência ao cisalhamento dos solos.** São Carlos: Grêmio Politécnico, 1989.

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 Soil Res.**, v. 44, p. 317-331, 1993.

RAJI, B. van; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: Instituto Agrônomo. 1983. 21 p. (Boletim Técnico, 81).

RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, p. 1-15, 2001.

ROCHA, W. W.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LIMA, J. M. Shear strength as affected by soil mineralogy. In: ANNUAL MEETING OF SOCIETY OF AGRONOMY IN UNIVERSITY, 2001, North Caroline. **Proceedings...** North Caroline, 2001.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG.** 2003. 101p Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 731-754.

SCHJONNING, P. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil Tillage Res.**, v. 12, p. 277- 283, 1991.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; FERREIRA, F. P. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, solos, sustentabilidade e qualidade estrutural, 30., 2005, Recife. **Palestras...** Recife, PE: SBCS, 2005.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; PAGLIAI, M.; PELLEGRINI, N.; VIGNOZZI, N. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil Tillage Res.**, v. 61, p. 143 – 155, 2001.

SIDORCHUK, A. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. **Catena**, v. 709, p. 312-328, 2002.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**: versão 8.0. San Rafael, Jandel Corporation, 2002. Software.

SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p 165-173, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 1–8, 2002.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 8nded. Ames, Iowa: Iowa State University, 1989.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil mechanics in engineering practice**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 499p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos**. São Paulo, McGraw-Hill, 1989. 509p.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B.; MESRI, G. **Soil mechanics in engineering practice**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1997. 499p.

ZANG, B.; ZHAO, Q. G.; HORN, R; BAUMGARTL, T. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. **Soil Tillage Res.**, v. 59, p. 97-106, 2001.