



**PAULA SANT'ANNA MOREIRA PAIS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, CAPACIDADE DE  
SUPORTE DE CARGA E RESISTÊNCIA AO  
CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO A  
DIFERENTES USOS E MANEJOS**

**LAVRAS – MG**

**2014**

**PAULA SANT'ANNA MOREIRA PAIS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E  
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO A DIFERENTES USOS E  
MANEJOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Moacir de Souza Dias Junior

**LAVRAS – MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Pais, Paula Sant'Anna Moreira.

Atributos físicos, capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um latossolo vermelho-amarelo submetido a diferentes usos e manejos / Paula Sant'Anna Moreira Pais. – Lavras : UFLA, 2014.

91 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.

Bibliografia.

1. Compressão uniaxial. 2. Estrutura do solo. 3. Pressão de pré-consolidação. 4. Densidade do solo. 5. Resistência ao cisalhamento do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

**PAULA SANT'ANNA MOREIRA PAIS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA E  
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE UM LATOSSOLO  
VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO A DIFERENTES USOS E  
MANEJOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2014.

Dr. Wellington Willian Rocha	UFVJM
Dr. Geraldo César de Oliveira	UFLA
Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA
Dr. Elifas Nunes de Alcântara	EPAMIG

Dr. Moacir de Souza Dias Junior  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2014**

*Aos meus pais, Paulo e Cida, pelo amor incondicional, educação e exemplo de vida.*

*Às minhas irmãs, Paloma e Pâmela, pelo amor, carinho e incentivo.*

*Ao Michel pelo amor e incentivo.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

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

Ao professor Dr. Moacir de Souza Dias Junior, pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança, ao longo dos anos de trabalho.

Ao CNPq, CAPES E Fapemig pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

À UFVJM, na pessoa do professor Dr. Wellington, pela concessão da área de estudo e disponibilidade.

A todos os professores do DCS/UFLA, pelo conhecimento transmitido, auxílio e contribuição ao trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce Claret Moraes e Doroteo, pela amizade e dedicação ao trabalho.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Geraldo César, Dr. Mozart Martins Ferreira, Dr. Elifas e Dr Wellington por participarem da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas, fundamentais para a melhoria deste trabalho.

A todos os colegas da pós-graduação, especialmente: Maria Luiza, Zélio, Diego, Paula Caruana, Nilma, Viviane, Ana Paula Corguinha, Marcele, Geila, Gabriela, Alisson, Érika e os demais, pelo agradável convívio e troca de ensinamentos e experiências.

A todos os funcionários do DCS, principalmente, à Dirce, pela amizade apoio e dedicação.

Aos meus pais, Paulo e Cida, minhas irmãs, Paloma e Pâmela, e ao Michel, pela paciência, amor e por sempre estarem ao meu lado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

Muito obrigada!

## RESUMO GERAL

Este estudo foi realizado com os objetivos de: i) avaliar as alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) provocadas pelos diferentes usos e manejos do solo, ii) desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga (MCSC) para um LVA submetido a diferentes usos e manejos, em função da pressão de pré-consolidação e da umidade volumétrica e identificar o resistente e o mais suscetível a compactação e iii) obter as envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo/uso de um LVA e identificar o uso/manejo mais resistente e o mais susceptível à compactação. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura, pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, situada em Curvelo, MG. No estudo dos atributos físicos e da capacidade de suporte de carga, foram avaliados cinco usos/manejos (milho, cerrado, pastagem com ovinos, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica)) nas camadas: 0-3 e 25-28 cm. No estudo da resistência do solo ao cisalhamento, foram avaliados três usos/manejos (cerrado, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica)), na camada 0-3 cm. No primeiro estudo foram determinadas a densidade do solo ( $D_s$ ), macro ( $Ma$ ) e microporosidade ( $Mi$ ), além da porosidade total ( $PT$ ). No segundo estudo foram desenvolvidos MCSC para todos os usos/manejos. No terceiro estudo, foram desenvolvidas as envoltórias de resistência ao cisalhamento, para avaliar o uso/manejo que mais degradou ou preservou a estrutura do solo. No primeiro estudo os piquetes com apresentaram maior  $D_s$ , menor  $PT$  e macroporosidade, tanto na camada 0-3cm, quanto na camada 25-28cm, indicando o efeito do pisoteio bovino na estrutura do solo. No segundo estudo, os MCSC que indicaram uma maior resistência à compactação do solo foram: na camada de 0-3 cm, Piquetes e Pastagem com Ovinos e na camada 25-28 cm, em umidades menores que  $0,18m^3m^{-3}$  Floresta e Piquetes e em umidades acima desse valor, Cerrado. Já os MCSC que indicaram maior suscetibilidade à compactação foram: na camada de 0-3 cm, Floresta e na camada 25-28 cm, em umidades menores que  $0,18m^3m^{-3}$  Cerrado e em umidades acima desse valor, Floresta e Piquetes. No terceiro estudo, a área de piquetes apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, maior resistência à compactação, tanto quando equilibrada à -2 kPa quanto à -6 kPa. A maior suscetibilidade à compactação, foi obtida à -2 kPa pela Floresta e Cerrado e à -6 kPa pela Floresta, devido à menor resistência ao cisalhamento.

Palavras-Chave: Compressão uniaxial. Estrutura do solo. Pressão de pré-consolidação. Densidade do solo. Resistência ao cisalhamento do solo.



## GENERAL ABSTRACT

This study was conducted with the objectives of: i) evaluating the changes of the physical attributes of a Red-Yellow Oxisol (RYO) caused by the different uses and managements of the soil, ii) developing load-bearing capacity models (LBCM) for an LVA submitted to different uses and managements in regard to the pre-consolidation pressure and volumetric moisture content, and identifying the most resistant and susceptible to compaction; e iii) obtaining the shear strength envelope and its parameters for the different uses/managements LVA systems, and identify the most susceptible to compaction. The study was conducted at the Moura Experimental Farm of the Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, located in Curvelo, Minas Gerais, Brazil. In the study of the physical attributes and load-bearing capacity, we evaluated five uses/managements (maize, cerrado, pasture with sheep, paddocks with dairy cattle and an area of forest - Mata Atlântica) in the 0-3 and 25-28 cm layers. In the study of soil shear strength, we evaluated three uses/managements (cerrado, paddocks with dairy cattle and an area of forest - Mata Atlântica), in the 0-3 cm layer. In the first study, we determined soil bulk density (Ds), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), and total porosity (TP). In the second study, we developed LBCM for all uses/managements. In the third study, we developed the shear strength envelope in order to evaluate the use/management which most degraded or preserved the soil structure. In the first study, the paddocks with dairy cattle showed higher Ds and lower PT and macroporosity, both in 0-3cm as the 25-28cm layer, indicating the effect of stamping in the soil structure. In the second experiment, the LBCM which indicated greater soil compaction resistance were: in the 0-3 cm layer, paddocks and pasture with sheep and in the 25-28 cm layer; at volumetric moisture content lower than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  in forest and paddocks, and at the volumetric moisture content above this value in cerrado. The LBCM which indicated greater susceptibility to compaction were: in the 0-3 cm layer, forest and 25-28 cm layer, at a volumetric moisture content than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  in the cerrado, and at volumetric moisture content above this value in forest and paddocks. In the third study, the area of paddocks showed higher shear strength and, consequently, greater resistance to compaction, whither in equilibrium at -2 kPa or at -6 kPa. The greater susceptibility to compaction was obtained at -2 kPa in forest and cerrado and at -6 kPa in forest, due to lower shear strength.

Keywords: Uniaxial compression. Soil structure. Pre-consolidation pressure. Soil density. Soil shear strength.

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 Curva de compressão do solo quando este já sofreu pressões prévias ..... 19
- Figura 2 Envoltória de resistência ..... 22

### SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 Densidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos ..... 44
- Figura 2 Porosidade total do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos ..... 45
- Figura 3 Macroporosidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos ..... 46
- Figura 4 Microporosidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos ..... 46

## **ARTIGO 2**

- Figura 1 MCSC do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos na camada de 0-3 cm: a) antes da comparação estatística segundo Snedecor & Cochran (1989) e b) após a comparação estatística dos MCSC ..... 63
- Figura 2 MCSC do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos na camada de 25-28 cm: a) antes da comparação estatística segundo Snedecor & Cochran (1989) e b) após a comparação estatística dos MCSC ..... 65

## **ARTIGO 3**

- Figura 1 Esquema de coleta das amostras ..... 80
- Figura 2 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -2 kPa ..... 82
- Figura 3 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -2 kPa ..... 84
- Figura 4 Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -6 kPa ..... 86

## LISTA DE QUADROS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 2

- Quadro 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) ..... 58
- Quadro 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).. 59

#### ARTIGO 3

- Quadro 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd)..... 77
- Quadro 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).. 78
- Quadro 3. Testes de homogeneidade, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a -2 kPa..... 83
- Quadro 4. Testes de homogeneidade, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a -6 kPa..... 85

## LISTA DE TABELAS

### SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) ..... 40

Tabela 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)... 41

#### ARTIGO 2

Tabela 1. Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [  $\theta_p = 10^{(a - b \theta)}$  ] dos diferentes usos/manejos, nas camadas 0-3 e 25-28 cm para o Latossolo Vermelho-Amarelo de acordo com o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989)..... 62

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	14
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1 Atributos físicos do Solo</b> .....	16
<b>2.2 Compactação do Solo</b> .....	18
<b>2.3 Resistência ao Cisalhamento do Solo</b> .....	21
<b>3 CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	24
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	25
<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	35
<b>ARTIGO 1 Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos</b> .....	35
<b>ARTIGO 2 Capacidade de suporte de carga de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos</b> .....	52
<b>ARTIGO 3 Resistência ao cisalhamento de um latossolo vermelho-amarelo submetido a diferentes usos e manejos</b> .....	72

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

Em regiões tropicais, normalmente com predomínio de solos muito intemperizados e com grande necessidade de práticas conservacionistas para manter e melhorar a sua qualidade, a agropecuária encontra um grande desafio que é o de desenvolver os sistemas de produção vegetal e animal, com alta produtividade e sustentabilidade ambiental (PIGNATARO NETTO et al., 2009). Isto porque a exploração inadequada desses solos favorece a degradação, principalmente, pela intensificação dos processos de erosão e compactação causando, como consequência, baixos rendimentos das culturas cultivadas (LEITE et al., 2010).

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo alteram a sua estrutura, interferindo nas suas Atributos físicos, como densidade do solo, porosidade, capacidade de suporte de carga do solo e resistência ao cisalhamento (FARIA et al., 1998; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999; SINGH; MALHI, 2006; BERTOL et al., 2004; PIRES et al., 2012), podendo causar a sua degradação, reduzindo o desenvolvimento e a produtividade das culturas subsequentes (PAGLIAI; VIGNOZZI; PELLEGRINI, 2004).

A magnitude das alterações que podem ocorrer nos atributos físicos do solo varia com a textura, o teor de matéria orgânica (SMITH; JOHNSTON; LORENTZ, 1997), a biomassa vegetal sobre o solo (SILVA et al., 2005; MELLO, 2002), a espécie de planta, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie animal (SALTON et al., 2002).

O pisoteio animal tem efeito sobre os atributos físicos do solo, mais concentrado nas camadas superficiais (PIRES, 2012), resultando aumento da densidade do solo e da resistência à penetração e, conseqüentemente, reduções

na infiltração de água e condutividade hidráulica saturada dos solos (GREENWOOD; MACLEOD; HUTCHINSON,1997).

Em áreas de cultivo anual, principalmente se forem aptas à mecanização, as alterações na estrutura do solo, ocorrem em decorrência da intensa mobilização do solo e do tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade (SILVA et al., 2002).

O monitoramento dos atributos físicos do solo e o desenvolvimento e uso dos modelos de capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento possibilitarão a identificação dos sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação, permitindo o planejamento das atividades a fim de evitar ou minimizar a degradação da estrutura proveniente do processo de compactação.

Desse modo, objetivou-se neste trabalho analisar, quantificar e modelar alterações estruturais de um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste tópico serão exploradas algumas informações sobre as Atributos físicos do solo, compactação do solo e resistência do solo ao cisalhamento.

### **2.1 Atributos físicos do Solo**

Com a retirada da cobertura vegetal natural para implantação de culturas, promove-se a alteração do ecossistema, havendo o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio com modificações nos atributos físicos do solo, tornando-o mais suscetível a processos erosivos e limitando a sua sustentabilidade (LIMA et al., 2009).

Um solo mantido em seu estado natural apresenta Atributos físicos, como porosidade, densidade, agregação e permeabilidade adequadas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEVSKI, 2000). Porém, quando este passa por processo produtivo, ocorrem alterações em suas Atributos físicos (NEVES et al., 2007), principalmente, quando o manejo na área ocorre em umidade inadequada, causando a sua degradação e reduzindo, significativamente, a sua produção subsequente.

Os sistemas de manejo do solo, como já mencionado anteriormente, exercem grande influência nas suas Atributos físicos, relacionadas à sua estrutura, podendo ser desfavoráveis à conservação do solo e à produtividade das culturas (KUNZ et al., 2007).

A aplicação de cargas externas sobre o solo, como por máquinas agrícolas ou pelo pisoteio animal, altera as Atributos físicos do solo, causando um aumento da densidade do solo, conseqüentemente, uma redução do seu espaço poroso, aumentando a sua resistência para a penetração radicular,

reduzindo o fluxo de água e nutrientes que chegam às raízes, prejudicando a produtividade final (VOGELMANN et al., 2012).

Atributos físicos, como a densidade do solo (STONE; SILVEIRA, 2001) e porosidade do solo (OLIVEIRA et al., 2001), estão ligados à forma e estabilidade estrutural do solo e por isso são utilizados em estudos de impactos do uso e manejo na qualidade física do solo (VIANA et al., 2011).

A densidade do solo é uma propriedade física muito utilizada para indicar as condições de manejo do solo, visto que define as características do sistema poroso do solo (SANTOS et al., 2009). É muito importante, em estudos voltados para a agricultura, porque permite avaliar propriedades como porosidade, difusividade do ar, condutividade hidráulica, etc., e, também, pode ser indicadora da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

Pelo fato de estar muito relacionada com os outros atributos, a maior parte das pesquisas indicam que, com o aumento da densidade, ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, podendo ocorrer redução da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010). E, como resultado, tem-se, no geral, a diminuição da produtividade agrícola (MELLO FILHO et al., 2006; SANTOS et al., 2006; LIMA et al., 2007).

A porosidade do solo é outra propriedade física importante para se avaliar o manejo do solo. Todavia, segundo (FERREIRA, 2010), determinar simplesmente a porosidade total do solo não é o suficiente para verificar o impacto do manejo. É de extrema importância o conhecimento da distribuição do tamanho dos poros, uma vez que o manejo pode atuar reduzindo os macroporos, transformando-os em microporos e não modificar a porosidade total do solo.

Assim, estudos que avaliem os atributos físicos, de forma integrada de acordo com os sistemas de uso e manejo do solo, são fundamentais para que se

adapte o manejo de forma condizente (MARCOLAN; ANGHINONI, 2006), evitando degradação da área e mantendo a sustentabilidade do sistema.

## **2.2 Compactação do Solo**

A estrutura do solo é definida por Marshall (1962), como o arranjo das partículas do solo e o espaço poroso entre elas, incluindo, também, o tamanho, a forma e o arranjo dos agregados, que são formados quando as partículas se agrupam em unidades separáveis.

A compactação é tida com um dos principais processos causadores da degradação do solo (DIAS JUNIOR et al., 2007; PAGLIAI, 2007) e é caracterizado pelo decréscimo do volume e aumento da densidade, em virtude da expulsão do ar dos poros do solo (MAGALHÃES; MOLIN; FAULIN, 2004). Outra definição para compactação do solo é a compressão do solo não saturado, no qual existe um aumento da densidade, em consequência da redução do seu volume, resultante da expulsão do ar de seus poros em razão do manejo inadequado (ABID; LAL, 2008; DIAS JUNIOR, 2000; GLAB; KULING, 2008; GUPTA; ALLMARAS, 1987; GUPTA; HADAS; SCHAEFER, 1989).

Os diferentes usos/manejos do solo alteram as Atributos físicos e mecânicas do solo (AJAYI et al., 2009b; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2008; SEVERIANO et al., 2008), causando compactação e com isso, podendo restringir a penetração de raízes (GYSI, 2001).

Como consequências da compactação, temos o aumento da densidade e resistência mecânica do solo (GONTIJO et al., 2007), redução da porosidade, tamanho e continuidade dos poros (GLAB; KULING, 2008; SERVADIO et al., 2001; SEVERIANO et al., 2008), redução da absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, redução das trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular (ARVIDSSON, 2001; DÜRR; AUBERTOT, 2000; ISHAQ et

al., 2001; LIPIEC et al., 2006), e aumento da capacidade de suporte de carga do solo (ARAÚJO JUNIOR et al., 2008; DIAS JUNIOR et al., 2007; MIRANDA et al., 2003; SILVA et al., 2006), e resistência do solo ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999; SILVA et al., 2009), resultando em decréscimo produção (DAUDA; SAMARI, 2002), aumento da erosão e da energia necessária para o preparo do solo (CANILLAS; SALOKHE, 2002).

Para que se preserve a estrutura do solo, é necessário que se conheça a capacidade de suporte de carga do solo que pode ser identificada pela curva de compressão do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; LARSON et al., 1989; LARSON; GUPTA; USECHE, 1980). Esta curva representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e alguma propriedade relacionada com o arranjo das partículas do solo, sendo o parâmetro mais frequentemente utilizado a densidade do solo (CASAGRANDE, 1936; DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; HOLTZ; KOVACS, 1981; KONDO, 1998).

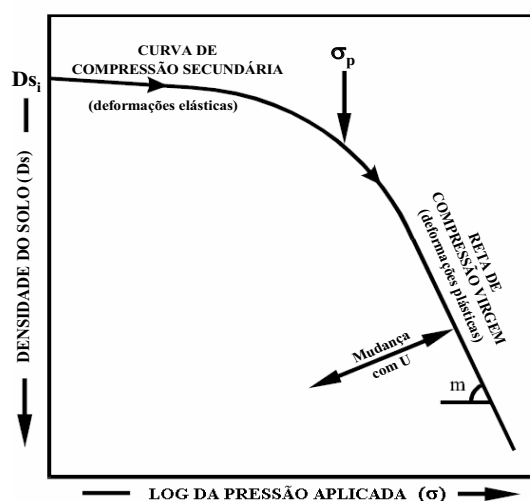


Figura 1 Curva de compressão do solo quando este já sofreu pressões prévias  
Fonte: Dias Junior e Pierce (1996)

Para avaliar a capacidade de suporte de carga de solos parcialmente saturados, o ensaio de compressão uniaxial tem sido utilizado, para obter a pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ), considerando a curva de compressão do solo (DIAS JUNIOR, 1994; KONDO, 1998, 2003; LIMA, 2004; MIRANDA, 2001; SILVA, 2003).

Quando o solo não sofreu nenhuma pressão prévia, a relação entre  $\sigma_p$  e umidade é linear e a aplicação de qualquer pressão resultará em deformação não recuperável (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; GUPTA; ALLMARAS, 1987; LARSON; GUPTA; USECHE, 1980; LEBERT; HORN, 1991), causando, portanto, compactação adicional ao solo (DIAS JUNIOR, 1994; HORN, 2004). Entretanto, quando o solo já experimentou pressões prévias ou ciclos de umedecimento e secagem, a variação das pressões, atuando sobre o solo, determinará a formação de duas regiões distintas na curva de compressão do solo: a curva de compressão secundária e a curva de compressão virgem (Figura 1) (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; HORN, 2004; HORN; LEBERT, 1994; KONDO, 2003; LEBERT; HORN, 1991).

A pressão de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) é uma medida da resistência mecânica dos solos a qual é resultado de processos pedogenéticos, efeitos antropogênicos ou das condições hidráulicas específicas do local (HORN; VOSSBRINK; BECKER, 2004).

A pressão de pré-consolidação tem sido utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga e da resistência mecânica do solo, para estimar quantitativamente o risco de compactação do solo (ALAKUKKU et al., 2003), em uma condição específica, num dado conteúdo de água ou potencial de água (BERLI et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003; PENG et al., 2004). Quando a pressão de pré-consolidação é expressa em função dos diferentes conteúdos de água ou potencial matricial, essa relação é conhecida como modelos de capacidade de suporte de carga (MCSC) (AJAYI et al., 2009a; AJAYI et al.,

2009b; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2008; BERLI et al., 2003; DIAS JUNIOR, 1994; DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; HORN; VOSSBRINK; BECKER, 2004; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999; OLIVEIRA et al., 2003; PENG et al., 2004).

A capacidade de suporte de carga (CSC) é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir tensões induzidas pelo tráfego de máquinas ou pisoteio animal sem mudanças permanentes no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo (ALAKUKKU et al., 2003). Quando as tensões aplicadas aos solos excederem sua CSC, a estrutura do solo será alterada e a compactação adicional ocorrerá (VAN DEN AKKER; SOANE, 2005; DIAS JUNIOR, 2000; DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; HORN; VOSSBRINK; BECKER, 2004; LEBERT; BÖKEN; GLANTE, 2007).

O modelo de capacidade de suporte de carga (MCSC), desenvolvido por Dias Junior (1994), prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes umidades volumétricas, sem sofrer compactação adicional, ou seja, sem ocorrer a degradação da estrutura do solo. Portanto, o desenvolvimento e uso desses MCSC são de extrema importância para o planejamento das atividades realizadas na área, de modo a evitar a compactação adicional.

### **2.3 Resistência ao Cisalhamento do Solo**

**Em virtude da** maior tecnificação da agricultura atual, aliada à utilização cada vez maior de maquinários e implementos mais pesados, além da grande e crescente exploração das áreas agrícolas, torna-se necessário o estudo e mensuração de propriedades do solo que consideram condições dinâmicas, pouco estudadas em física do solo convencional (SILVA et al., 2004). Dentre essas propriedades está a resistência do solo ao cisalhamento. De modo que, ao entender esta resistência do solo, poderão ser feitas tomadas de decisão de um

manejo menos degradante da estrutura, evitando efeitos prejudiciais relacionados à compactação do solo (NUNES, 2010; ROCHA, 2003).

A resistência de um solo ao cisalhamento é a resistência interna que ele oferece, sem que ocorra ruptura ou deslizamentos (ROCHA, 2003; REICHERT et al., 2010). Portanto, quando o solo sofre uma tensão cisalhante superior ao seu valor crítico de resistência, ele se rompe. A resistência ao cisalhamento pode ser expressa pela equação de Mohr-Coulomb,  $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\phi$  (Figura 2) (RAMAMURTHY, 2001) em que  $\tau$  é a máxima pressão cisalhante suportada pelo solo,  $\sigma_n$  é a tensão normal a que a superfície de falhamento está submetida,  $c$  é o intercepto de coesão ou coesão aparente do solo e  $\phi$  é o ângulo de atrito interno do solo, ou seja, o ângulo que a força normal faz com a resultante das forças a que o maciço terroso está submetido. Considerando esta equação define-se a envoltória de resistência, que é a linha limite de resistência dos solos, ou seja, qualquer tensão cisalhante que esteja acima desta linha promoverá a ruptura do solo (ROCHA, 2003).

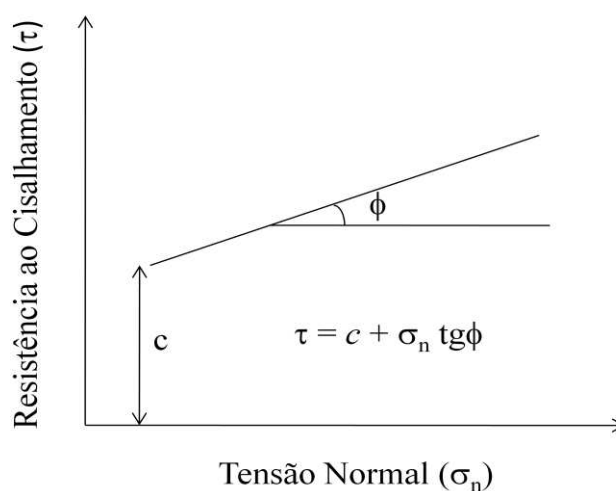


Figura 2 Envoltória de resistência

Normalmente, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 1999; SILVA et al., 2009), em função da menor distância entre as partículas, o que confere menor índice de vazios e, conseqüentemente, um maior esforço, por exemplo, para prepará-los para o cultivo (NUNES, 2010, PIRES, 2012). Com isso, nota-se que a resistência ao cisalhamento do solo pode, também, ser usada como um indicador de sua compactação (AYERS; PERUMPRAL, 1982; SCHJONNING; RASMUSSEN, 1991; SILVA et al., 2009).

Os parâmetros  $c$  e  $\phi$  são características intrínsecas dos solos (BENJAMIM; CRUSE, 1985; RAMAMURTHY, 2001; ZANG et al., 2001).

A coesão aparente do solo ( $c$ ) é uma parcela de resistência ao cisalhamento dos solos, presente apenas em solos parcialmente saturados e com maior expressão nos solos argilosos, em consequência da maior ou menor tensão capilar (PINTO, 1989; VARGAS, 1989; AZEVEDO, 1999; SILVA; CABEDA, 2005; PIRES, 2012). Quando se satura ou seca-se totalmente o solo, este parâmetro desaparece, portanto, o nome aparente (ROCHA, 2003; NUNES, 2010).

A partir de então, obtêm-se as envoltórias de resistência ao cisalhamento do solo, pela combinação dos pares de dados: tensões cisalhantes obtidas pela prensa e tensões normais estabelecidas e aplicadas antes do início do ensaio (NUNES, 2010). Com a obtenção destas envoltórias, é possível planejar da melhor forma o manejo da área de forma visando reduzir processos de degradação.



### **3 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Para que se tenha um sistema produtivo sustentável é importante que seja feito um monitoramento dos atributos físicos e mecânicos do solo, visando à redução da degradação estrutural.

Desse modo, estudos que identificam e quantificam os efeitos causados pelos diferentes usos e manejos na estrutura do Latossolo Vermelho-Amarelo são importantes ferramentas, para adaptar o manejo de forma condizente, tendo em vista o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

## REFERÊNCIAS

ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality: I., aggregate stability, carbon and nitrogen pools. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 100, n. 1-2, p. 89-98, July/Aug. 2008.

AJAYI, A. E. et al. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian latosols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 14-18, Jan. 2009a.

AJAYI, A. E. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 122-127, Sept. 2009b.

VAN DEN AKKER, J. J. H.; SOANE, B. Compaction. In: HILLEL, D. et al. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. New York: Academic Press, 2005. p. 285-293.

ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 145-160, Oct. 2003.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre atributos físicos de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, out./dez. 2000.

ARAÚJO JÚNIOR, C. F. et al. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejos de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 25-32, jan./fev. 2008.

ARVIDSSON, J. Subsoil compaction caused by heavy sugarbeet harvesters in southern Sweden: I., soil physical properties and crop yield in six field experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1-2, p. 67-78, June 2001.

AYERS, P. D. PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index trans. **Transactions American Science of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 35, n. 5, p. 1169-1172, Nov./Dec. 1982.

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

BENJAMIN, J. G.; CRUSE, R. M. Measurement of shear strength and bulk density of soil aggregates. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, n. 5, p. 1248-1251, Sept./Oct. 1985.

BERLI, M. et al. Modelling compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery under various moisture conditions in Switzerland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 57-66, Oct. 2003.

BERTOL, I. et al. Atributos físicos do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 155-165, jan./fev. 2004.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas.** São Paulo: ESALQ/USP, 1997.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, May 2002.

CASAGRANDE, A. The determination of the pré-consolidation load its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 1., 1936, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: MA Harvard University, 1936. p. 60-64.

DAUDA, A.; SAMARI, A. Cowpea yield response to soil compaction under tractor on a sandy loam soil in the semi-arid region of northern Nigeria. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 17-22, Oct. 2002.

DIAS JUNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 55-94.

DIAS JUNIOR, M. de S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic.** 1994. 114 p. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science)-Michigan State University, East Lansing, 1994.

DIAS JUNIOR, M. de S. et al. Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 257-264, fev. 2007.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 175-182, jan./mar. 1996.

DÜRR, C.; AUBERTOT, J. N. Emergence of seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) as affected by size, roughness and position of aggregates in the seedbed. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 219, n. 1-2, p. 211-220, Mar. 2000.

FARIA, J. C. et al. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p.731-741, jul./set. 1998.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas Atributos físicos do solo. **Semina: ciências agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010.

GLAB, T.; KULING, B. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n. 2, p. 169-178, June 2008.

GONTIJO, I. et al. Planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1245-1254, nov./dez. 2007.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 37, n. 4, p. 413-419, 1997.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. In: STEWART, B. A. (Ed.). **Advances in soil science**. New York: Springer-Verlag, 1987. p. 65-100.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SCHAFER, R. L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. E. et al. (Ed.). **Mechanical and related process in structured agricultural soils**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 137-152.

GYSI, M. Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: field data and a critical state soil mechanics model approach. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3-4, p. 133-142, Sept. 2001.

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

HORN, R. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 4, p. 1131-1137, July/Aug. 2004.

HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactibility and compressibility. In: SOANE, B. D.; VAN VAN OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 45-69.

HORN, R.; VOSSBRINK, J.; BECKER, S. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 207-219, Dec. 2004.

ISHAQ, M. et al. Subsoil compaction effects on crop in Punjab, Pakistan: II., root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3-4, p. 153-161, July 2001.

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

KONDO, M. K. **Variabilidade espacial do comportamento compressivo do solo e mapas de trafegabilidade na cultura do cafeeiro irrigado**. 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, 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.

KUNZ, M. et al. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo na cultura do milho In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.

LARSON, W. E. et al. **Mechanics and related processes in structured agricultural soils**. Netherlands: Kluwer Academic, 1989. (Nato Applied Science, 172).

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soil from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, May/June 1980.

LEBERT, M.; BÖKEN, H.; GLANTE, F. Soil compaction-indicators for the assessment of the harmful changes to the soil in the context of the German federal soil protection act. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 82, n. 3, p. 388-397, Feb. 2007.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2-3, p. 275-286, Feb. 1991.

LEITE, L.F.C. et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciências Agrônômicas**, Loureno Marques, v. 41, n. 1, p. 29-35, jan./mar. 2010.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1233-1244, nov./dez. 2007.

LIMA, C. L. R. de. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 49 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

LIMA, J. S. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem e vegetação secundária em regeneração natural. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 185-195, abr./jun. 2009.

LIPIEC, J. et al. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, n. 2, p. 210-220, Sept. 2006.

MAGALHÃES, R. P.; MOLIN, J. P.; FAULIN, G. D. C. Estudo da espacialidade do índice de cone em função do local amostrado em uma lavoura de café (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 4., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. p. 1-7.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p.163-170, jan./fev. 2006.

MARSHALL, T. J. The nature, development and significance of soil structure. In: NEALE, G. J. (Ed.). **Transactions of joint meeting of comissions IV e V (ISSS)**. Palmerston North: New Zealand Society of Soil Science, 1962. p. 243-257.

MELLO, N. A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: Imprepel Gráfica & Editora, 2002. p. 43-60.

MELO FILHO, J. F. et al. A análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 199-205, 2006.

MIRANDA, E. E. V. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Latossolo sob cultivo de cafeeiro na região dos Cerrados**. 2001. 57 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

MIRANDA, E. E. V. et al. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, nesp., p. 1506-1515, dez. 2003.

NEVES, C. M. N. et al. Atributos indicadores da qualidade do solo em Sistemas Agrossilvipastoril no Noroeste do Estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 74, p. 45-53, jul. 2007.

NUNES, A. H. B. **Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um Latossolo cultivado com eucalipto**. 2010. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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

OLIVEIRA, J. O. A. P. et al. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 443-450, abr./jun. 2001.

PAGLIAI, M. **Soil structure**. Trieste: College on Soil Physics, 2007.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N.; PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2, p. 133-143, Dec. 2004.

PENG, X. H. et al. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompacted Ultisols. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, n. 2, p. 125-137, Apr. 2004.

PIGNATARO NETTO, I. T. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1441-1448, set./out. 2009.

PINTO, C. S. **Resistência ao cisalhamento dos solos**: volume 1. São Carlos: Grêmio Politécnico, 1989.

PIRES, B. S. **Capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob pastagens ao longo do tempo**. 2012. 111 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PIRES, B. S. et al. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p.635-642, mar./ abr. 2012.

PIRES, B. S. et al. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8.; ENCONTRO DE DIVULGAÇÃO DA PRODUÇÃO



CIENTÍFICA, 5., 2006, Campanha. **Anais...** Campanha: UEMG/FAPEMIG, 2006. 1 CD-ROM.

RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 683-697, July 2001.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 30-102.

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

SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.

SANTOS, L. N. et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 140-149, maio/ago. 2009.

SANTOS, M. L. et al. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Science**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 313-321, 2006.

SCHJONNING, P.; RASMUSSEN, K. J. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, n. 1-2, p. 69-82, Sept. 1991.

SERVADIO, P. et al. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3-4, p. 143-155, Sept. 2001.

SEVERIANO, E. C. et al. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e de um Cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1419-1427, july/ago. 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de FE, Si e Al em solos do tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 447-457, maio/jun. 2005.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, A. R. **Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos impactos causados pelas operações mecanizadas na estrutura de um Latossolo Amarelo cultivado com cafeeiros**. 2003. 39 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

SILVA, A. R. et al. 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, v. 30, n. 1, p. 207-216, jan./fev. 2006.

SILVA, R. B. et al. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of charges on soil structure in sugarcane fields of São Paulo State, Brasil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, May 2009.

SILVA, R. B. et al. Resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 165-173, jan./fev. 2004.

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

SMITH, C. W. C.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 3-4, p. 335-354, Nov. 1997.

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, n. 1-2, p. 143-153, Jan. 2006.

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

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

VIANA, E. T. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, nov./dez. 2011.

VOGELMANN, E. S. et al. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 291-297, fev. 2012.

ZANG et al. Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 97-106, Jan. 2001.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS****ARTIGO 1 Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos**

Paula Sant'Anna Moreira Pais<sup>(1)</sup>, Moacir de Souza Dias Junior<sup>(1)</sup>, Wellington Willian Rocha<sup>(2)</sup>, Bruno da Silva Pires<sup>(3)</sup>, Zélio Resende de Souza<sup>(1)</sup>

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão da Revista  
Pesquisa Agropecuária Brasileira**

<sup>(1)</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência do Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras, MG. E-mail: paulaufla@yahoo.com.br, msouzadj@dcs.ufla.br, zeliodesouza@yahoo.com.br <sup>(2)</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. E-mail: wwillian@ufvjm.edu.br <sup>(3)</sup> Universidade do Estado e Minas Gerais, Campus de Passos. E-mail: piresbruno@yahoo.com.br.

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo provocadas pelos diferentes usos e manejos do solo. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG. Os usos/manejos avaliados foram: milho, cerrado, pastagem com ovinos, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica). A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Para isso, em cada manejo/uso, foram coletadas aleatoriamente, 3 amostras com estrutura indeformada, nas camadas 0-3cm e 25-28cm, totalizando 30 amostras. Após a coleta, as amostras foram embaladas em filme PVC e posteriormente parafinadas para que preservassem a estrutura durante o transporte. No laboratório, foram determinadas a porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), e também a densidade do solo (Ds). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ( $p < 0,05$ ). Os piquetes com gado de leite apresentaram maior Ds, menor PT e macroporosidade, tanto na camada 0-3cm, quanto na camada 25-28cm, indicando portanto, o efeito negativo do pisoteio bovino na estrutura do solo.

Termos para indexação: Porosidade do solo, pisoteio animal, degradação da estrutura do solo.

### **Physical properties of a Red-Yellow Latosol under different use and managements**

Summary – The aim of this study was to evaluate the changes of the physical properties of a Red-Yellow Latosol caused by different uses and management of the soil. The study was conducted at the Experimental Farm Moura (FEM), belongs to the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), located in Curvelo, MG. The management/uses were: corn, cerrado, pasture with sheep, paddocks with dairy cattle and an area of forest (Mata Atlântica). Soil sampling was conducted in January 2013. For this, each management/use were collected randomly, 3 samples with undisturbed structure at layer 0-3cm and 25-28cm, totaling 30 samples. After collection, the samples were packed in PVC film and subsequently paraffin to preserve the structure during transport. In the laboratory, were determined total porosity (PT), macroporosity (Ma) and microporosity (Mi), and also the bulk density (Ds). The results obtained were subjected to analysis of variance and means were compared by Skott-Knott ( $p < 0.05$ ). The paddocks with dairy cattle showed higher Ds, lower PT and macroporosity, both layer 0-3cm, as the 25-28cm layer, thus indicating the negative effect of cattle trampling on soil structure.

Index Terms: Soil porosity, cattle trampling, soil structure degradation.

### **Introdução**

As áreas compactadas no Brasil estão aumentando cada vez mais devido ao manejo inadequado do solo, causado pelo preparo mecânico e pisoteio de animais em solos com umidade inadequada (Souza, 2012). Por isso é de extrema importância que se avalie, compreenda e quantifique os impactos na estrutura do solo, visando controlar o efeito da compactação (Rocha, 2003; Pires et al., 2012).

O pisoteio animal pode promover grandes alterações nas condições físicas do solo afetando, portanto, o crescimento do sistema radicular (Ferreira et al., 2010) e conseqüentemente as culturas subseqüentes ao pastejo (Silva et al., 2003; Albuquerque et al., 2001; Salton et al., 2002). A natureza e gravidade destes efeitos são determinadas pela taxa de lotação, tipo de solo e umidade do solo no momento do pastejo. Isto porque, como já mencionado anteriormente, quando o pastejo é realizado em condições de umidade inadequada maximiza a degradação da estrutura do solo, prejudicando o crescimento de plantas (Betteridge et al., 1999).

A magnitude das alterações que podem ocorrer nos atributos físicos do solo varia com a textura, o teor de matéria orgânica (Smith et al., 1997), a biomassa vegetal sobre o solo (Silva et al., 2005; Mello, 2002), a intensidade e de pastejo e a espécie e categoria animal (Salton et al., 2002).

Deve-se ressaltar que o efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo é limitado às suas camadas mais superficiais (Kondo & Dias Junior, 1999; Cassol, 2003; Pires, 2012), resultando em aumento da densidade do solo, redução da porosidade total e macroporosidade, infiltração de água e condutividade hidráulica saturada (Greenwood et al., 1997).

Nas áreas utilizadas para cultivo anual, principalmente se forem aptas à mecanização, ocorrem também alterações nos atributos físicos do solo, devido à intensidade de tráfego na área (Silva et al., 2002; Pires, 2012). Este efeito é pronunciado quando o tráfego ocorre em condições de elevada umidade do solo. Ainda segundo Pires (2012), é importante salientar que apesar das máquinas agrícolas, terem massa extremamente maior do que os bovinos, elas podem exercer pressão menor sobre solo, isto porque o peso das máquinas é distribuído em uma área maior (pneus e esteira) do que a dos bovinos, que podem ficar apoiados no solo apenas com duas patas quando estão caminhando.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos físicos de um LVA provocadas pelos diferentes usos/manejos do solo, visando o planejamento das atividades, a fim de evitar ou minimizar a degradação da estrutura proveniente do processo de compactação.

### **Material e Métodos**

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG, latitude de 18° 45' 23" S e longitude 44° 25' 51" W de Greenwich e a uma altitude de 632 m.

O clima da região é do tipo Cwa, conforme a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 22,2°C, tendo, no mês mais quente e no mês mais frio, temperaturas médias de 30°C e 15°C, respectivamente e a precipitação anual é de 1.308mm (Brasil, 1992).

O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argilosa (Embrapa 2006). A caracterização física e química são apresentadas nas tabelas 1 e 2.



**Tabela 1.** Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Manejo/Usos	Camada	Argila	Areia	Silte	ADA	IF	Dp
	cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----			%	Mg m <sup>-3</sup>	
Milho	0-3	710 <sup>1</sup>	60 <sup>1</sup>	230 <sup>1</sup>	350 <sup>1</sup>	51 <sup>1</sup>	2,65 <sup>1</sup>
Milho	25-28	720	50	230	430	41	2,68
Cerrado	0-3	680	70	250	420	39	2,68
Cerrado	25-28	680	60	260	440	35	2,69
Floresta	0-3	500	110	390	250	50	2,59
Floresta	25-28	520	100	390	330	36	2,66
Ovinos	0-3	580	90	330	310	47	2,65
Ovinos	25-28	620	80	310	420	32	2,68
Piquetes	0-3	510	120	370	300	40	2,66
Piquetes	25-28	520	110	370	340	35	2,66

1 = Média de três repetições. ADA: argila dispersa em água; IF: índice de floculação; Dp: densidade de partículas.

**Tabela 2.** Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Manejo/ Uso	Camada cm	pH	P			K			Ca			Mg			Al			T	V	m	M.O
			---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>				
Milho	0-3	5,5 <sup>1</sup>	10,64 <sup>1</sup>	192,00 <sup>1</sup>	4,40 <sup>1</sup>	2,20 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	11,13 <sup>1</sup>	63,72 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	3,99 <sup>1</sup>
Milho	25-28	5,3	2,60	86,00	2,90	0,90	0,20	8,54	47,08	4,74	2,87										
Cerrado	0-3	4,9	1,13	106,00	0,70	0,60	1,30	9,44	16,65	45,30	3,56										
Cerrado	25-28	4,9	0,28	70,00	0,30	0,30	1,30	8,65	9,01	62,50	2,48										
Floresta	0-3	5,4	1,71	196,00	6,50	2,00	0,10	13,52	66,59	1,10	5,43										
Floresta	25-28	5,4	0,56	180,00	4,20	1,50	0,30	12,46	49,45	4,64	3,99										
Ovinos	0-3	5,6	2,60	102,00	3,70	1,90	0,10	10,91	53,73	1,68	3,99										
Ovinos	25-28	5,3	0,00	34,00	1,60	0,90	0,70	8,89	29,10	21,28	2,36										
Piquetes	0-3	5,3	4,81	142,00	2,90	1,20	0,10	8,50	52,52	2,19	3,28										
Piquetes	25-28	5,3	0,00	34,00	1,20	0,60	0,40	5,93	31,82	17,47	2,11										

1 = Média de três repetições

Foram avaliados cinco usos/manejos: milho, cerrado, pastagem com ovinos, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (resquício de Mata Atlântica).

A área de piquetes com gado de leite é cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. *Xaraés*, implantado em janeiro de 2012 e pastejada com gado Holandes , com uma taxa de lotação de 4 a 5 UA. O primeiro pastejo foi realizado em meados de junho de 2012 e a partir de então foi adotado do ciclo de pastejo de 27 dias (3 dias de pastejo e 24 dias de descanso).

A área com milho é utilizada para este fim há pelo menos 10 anos. Essa área sofre aração e gradagem com aradado reversível de 3 discos (28 polegadas cada disco) e com grade niveladora com 16 discos de 18 polegadas.

A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Para isso, em cada manejo/uso, foram coletadas aleatoriamente, 3 amostras com estrutura indeformada, nas profundidades 0-3cm e 25-28cm, totalizando 30 amostras. Para essa coleta foi utilizado o amostrador de Uhland com anéis volumétricos de 6,40cm de diâmetro interno e 2,54cm de altura. Após a coleta, as amostras foram embaladas em filme PVC e posteriormente parafinadas para que preservassem a estrutura durante o transporte. Nestas mesmas áreas também foram coletadas amostras de solo deformadas nas profundidades 0-3cm e 25-28cm.

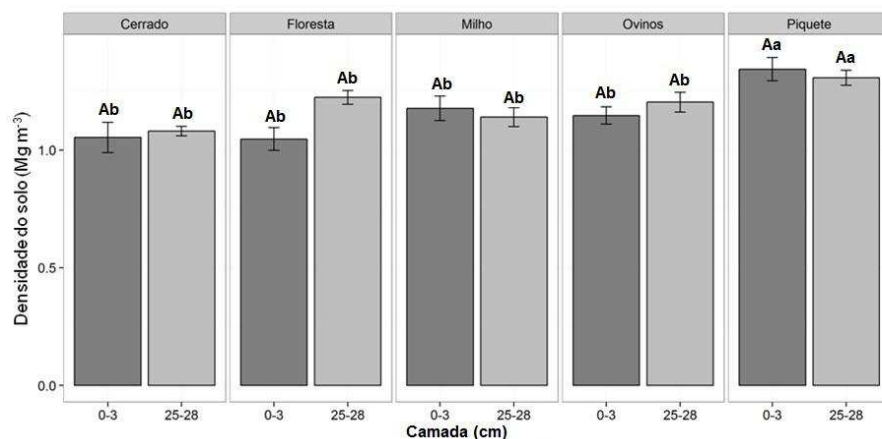
No laboratório, foi feito o preparo das amostras indeformadas, retirando o excesso de solo, cuidando para que o volume do solo fosse igual ao volume do

anel. Posteriormente foram determinadas a porosidade total (PT), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), conforme Klute (1986) e Danielson e Sutherland (1986) e também a densidade do solo (Ds), conforme Blake e Hartge (1986).

A análise de variância dos dados de macro (Ma) e microporosidade (Mi), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) foi feita utilizando-se o modelo de delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

### **Resultados e Discussão**

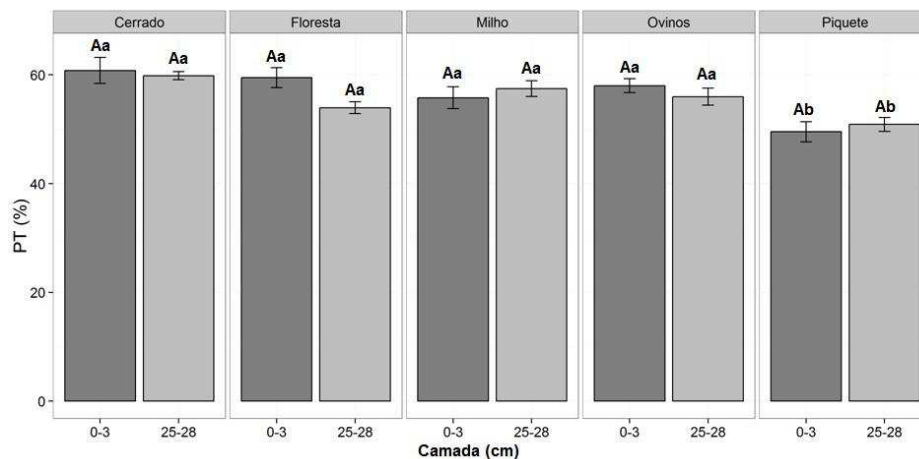
Observa-se na figura 1 que os valores de densidade do solo não foram diferentes entre as camadas nos usos/manejos. Entretanto, quando se compara os usos/manejos, observa-se que a área utilizada com piquetes de gado de leite apresentou maior Ds que as demais (Figura 1), resultado provavelmente causado pelo pisoteio animal, corroborando com estudos de Araújo et al. (2007).



**Figura 1.** Densidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos.

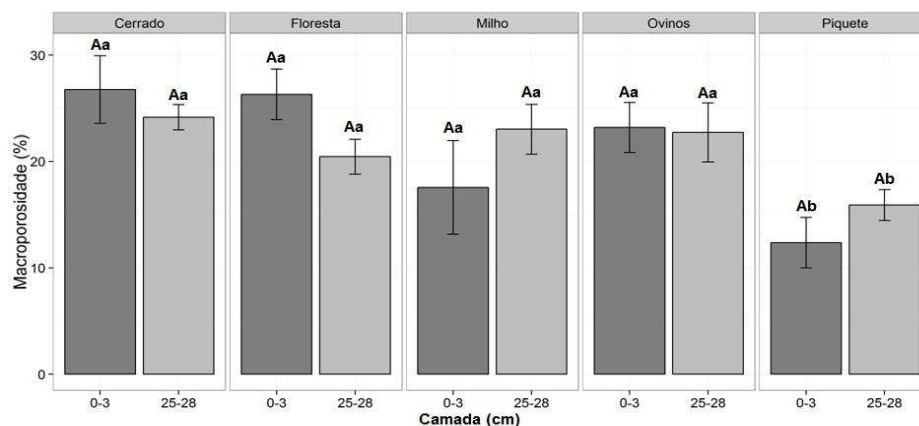
Em trabalho realizado por Kondo & Dias Junior (1999), o efeito do pisoteio do gado em pastagens ocorreu principalmente nos primeiros centímetros do solo, cerca de 0–3 cm, porém neste caso, este resultado não foi observado, visto que não houve diferença nos valores de Ds nas camadas 0-3cm e 25-28cm (Figura 1). Esta diferença possivelmente não foi observada devido ao pouco tempo de pastejo desses piquetes, no caso por volta de sete meses.

Para a porosidade total (PT), verifica-se comportamento semelhante ao observado para a Ds, uma vez que o aumento da Ds esteve associado à redução da PT. Portanto, nota-se que a área com piquetes de gado de leite foi a que apresentou a menor PT, demonstrando efeito do pisoteio bovino na estrutura do solo (Figura 1). Esse resultado corrobora com estudos de Nunes et al. (2012).



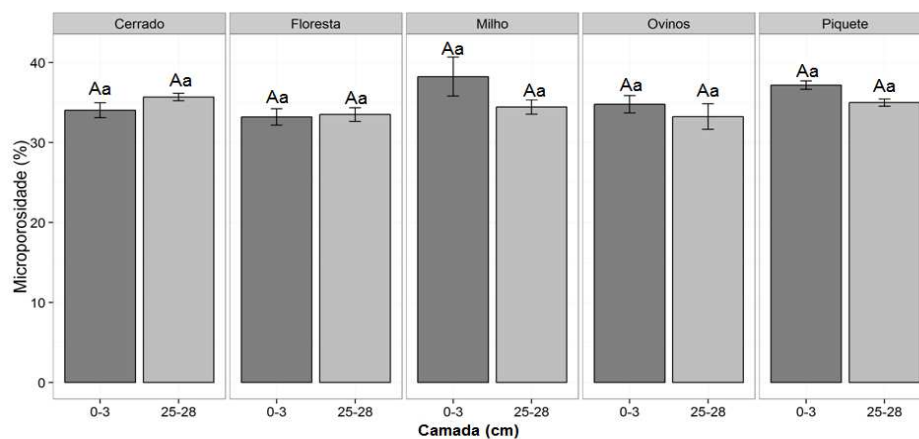
**Figura 2.** Porosidade total do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos.

Verifica-se na figura 3 que os valores de macroporosidade não foram diferentes entre as profundidades nos usos/manejos estudados. Quando se compara os usos/manejos, verifica-se que a área com piquetes de gado de leite foi a que apresentou os menores valores de macroporosidade, a porosidade responsável pela infiltração de água no solo, aeração, os poros preferenciais para o crescimento radicular, etc. Este resultado confirma mais uma vez o efeito do pisoteio animal na estrutura do solo. Lanzasova et al. (2007) também encontraram aumento de densidade e redução da macroporosidade após o pastejo.



**Figura 3.** Macroporosidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos.

No atributo microporosidade do solo (Figura 4), verifica-se que não houve diferença estatística tanto entre as profundidades nos usos/manejos quanto entre os usos/manejos estudados.



**Figura 4.** Microporosidade do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos nas profundidades de 0-3 e 25-28 cm. Letras maiúsculas comparam as camadas e letras minúsculas comparam os usos/manejos.

### **Conclusões**

Os piquetes com gado de leite apresentaram maior Ds, menores PT e macroporosidade, tanto na camada 0-3 cm, quanto na camada 25-28cm, indicando portanto, do pisoteio bovino na estrutura do solo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem aos órgãos CNPq, Fapemig e Capes pelo apoio financeiro e à UFVJM pela disponibilização da área de estudo.

### **Referências**

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas Atributos físicos do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.717-723, 2001.

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 Research**, v. 37, p. 743-760, 1999.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed., **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986, p.363-375.



BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, MARA, 1992. 84 p.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

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

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p. 443-461.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas Atributos físicos do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p. 913-932, 2010.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.37, p. 413-419, 1997.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: \_\_\_\_\_. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

KONDO, M. K.; DIASJUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 211-218, 1999.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1131-1140, 2007.

MELLO, N. A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N.; ASSMANN, T. S. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., 2002. Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: Imprepel Gráfica & Editora Ltda, 2002. p. 43-60.

NUNES, G. H. C.; ANDRADE, T. H.; SANTOS, F. C. V.; GONÇALVES, R. P.; CORRECHEL, V. Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob pastagem em Goiânia, GO. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 19., 2012, Lages, SC. **Anais...**CAV-UDESC/EPAGRI, 2012. CD-ROM.

PIRES, B.S. **Capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob pastagens ao longo do tempo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2012. 113p. (Tese de Doutorado)

PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. & CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.635-642, 2012.

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

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

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solos do tabuleiro costeiro de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 447-457, 2005.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. & LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. **Soil and Tillage Research**, v.43, p. 335-354, 1997.

**SOUZA, I. A. Avaliação do capim-braquiária e dos atributos físicos do Solo sob doses de nitrogênio.** Diamantina, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2012. 53p. (Dissertação de Mestrado)

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

**ARTIGO 2 Capacidade de suporte de carga de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos<sup>1</sup>**

Paula Sant'Anna Moreira Pais<sup>(2)</sup>, Moacir de Souza Dias Junior<sup>(3)</sup>, Wellington Willian Rocha<sup>(4)</sup>, Bruno da Silva Pires<sup>(5)</sup>, Zélio Resende de Souza<sup>(6)</sup>

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão da Revista Brasileira de Ciência do Solo**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado da primeira autora.

<sup>(2)</sup> Engenheira-Agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo no Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – DCS/UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista Embrapa/Café. E-mail: paulafla@yahoo.com.br.

<sup>(3)</sup> Engenheiro Agrícola, PhD em Crop and Soil Science. Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista CNPq e Pesquisador Mineiro da FAPEMIG. E-mail: msouzadj@dcs.ufla.br.

<sup>(4)</sup> Engenheiro Agrícola, Doutor em Ciência do Solo, Professor Adjunto do Departamento de Agronomia (Física do Solo), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. E-mail: wwillian@ufvjm.edu.br.

<sup>(5)</sup> Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor da Universidade do Estado e Minas Gerais, Campus de Passos. E-mail: piresbruno@yahoo.com.br.

<sup>(6)</sup> Agrônomo, Mestrando em Ciência do Solo no Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – DCS/UFLA. E-mail: zeliodesouza@yahoo.com.br.

## RESUMO

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo alteram a sua estrutura, interferindo nos seus atributos físicos como a capacidade de suporte de carga do solo, podendo causar compactação do solo, reduzindo o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Os objetivos deste estudo foram: desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos e manejos, em função pressão de pré-consolidação e da umidade volumétrica e identificar o sistema de manejo mais resistente e o mais suscetível a compactação. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG (Latitude 18° 45' 23" S, Longitude 44° 25' 51" W e Altitude de 632 m). Os usos/manejos avaliados foram: milho, cerrado, pastagem com ovinos, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica). A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Em cada manejo/uso, foram coletadas aleatoriamente, 20 amostras com estrutura indeformada, nas camadas 0-3 cm e 25-28 cm, totalizando 200 amostras. Para essa coleta foi utilizado o amostrador de Uhland, com anéis volumétricos de 6,40cm de diâmetro interno e 2,54cm de altura. Após a coleta, as amostras foram embaladas em filme PVC e posteriormente parafinadas para que preservassem a estrutura durante o transporte. As amostras indeformadas foram saturadas e equilibradas em diferentes umidades volumétricas ( $\theta$ ). Em seguida foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial para obtenção das pressões de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ). A partir dos valores das  $\sigma_p$  e  $\theta$ , foram obtidos os modelos de capacidade de suporte de carga (MCSC) dos solos. Os usos/manejos que indicaram uma maior resistência à compactação do solo na camada de 0-3 cm foram Piquetes e a Pastagem com ovinos. Na camada 25-28 cm, os usos/manejos que indicaram uma maior resistência à compactação foram Floresta e Piquetes em umidades

menores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e o Cerrado em umidades maiores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$ . Já os usos/manejos mais suscetíveis à compactação foram: na camada de 0-3 cm, a Floresta e na camada 25-28 cm, o Cerrado em umidades menores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e Floresta e Piquetes, maiores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$ .

Termos de indexação: pressão de pré-consolidação, sustentabilidade, pisoteio animal.

**SUMMARY:** *LOAD-BEARING CAPACITY OF A RED-YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT USES AND MANAGERMENTS*

*The different uses and soil management alter its structure, interfering in their physical properties as the load-bearing capacity of the soil, causing soil compaction, reducing the development and productivity of crops. The objectives of this study were: to develop load-bearing capacity models (MCSC) for an Red-Yellow Latosol under different uses and managements in the preconsolidation pressure and the volumetric moisture function and identify the management system more resistant and more susceptible to compaction. The study was conducted at the Experimental Farm of Moura (FEM), belongs to the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), located in Curvelo, MG (Latitude  $18^{\circ} 45' 23''$  S, Longitude  $44^{\circ} 25' 51''$  W and altitude 632 m). The management/uses evaluated were: corn, savannah, pasture with sheep, paddocks with dairy cattle and a forest area (Atlantic forest). Soil sampling was conducted in January 2013. In each management/use were collected randomly, 20 samples with undisturbed structure at depths 0-3cm and 25-28cm, totaling 200 samples. For this soil sampling was used the sampler Uhland, with volumetric rings with 2.54 cm height and 6.40 cm internal diameter. After sampling, the samples were packed in PVC film and subsequently paraffin to preserve the structure during transport. Undisturbed soil samples were saturated and balanced with different volumetric moisture content ( $\theta$ ). Then were subjected to uniaxial compression test to obtain the preconsolidation pressure ( $\sigma_p$ ). From the values of  $\sigma_p$  and, models of the load-bearing capacity (MCSC) of soil were obtained. The management/use that indicated a greater resistance to soil compaction in the 0-3 cm layer were the savannah and pasture with sheep. In the 25-28 cm layer, the managements/uses*

*that indicated a greater resistance to compaction were forest and paddocks with dairy cattle at lower moisture than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  and the savannah at at moisture content above than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ . The managements/uses more susceptible to compaction were in the 0-3 cm layer, forest and in the 25-28 cm layer, savannah at lower moisture than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  and forest and paddocks with dairy cattle, at moisture content above than  $0.18 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$ .*

*Index terms: preconsolidation pressure, sustainability, animal trampling.*

## INTRODUÇÃO

A agropecuária nas regiões tropicais tem um grande desafio que é desenvolver sistemas de produção vegetal e animal que com alta produtividade e sustentabilidade ambiental (Pignataro Netto et al., 2009). Isto porque a exploração inadequada dos solos dessas regiões favorece a degradação, principalmente pela intensificação dos processos de compactação e erosão causando, como consequência, baixos rendimentos das culturas cultivadas (Leite et al., 2010).

Os diferentes sistemas de uso e manejo do solo alteram a sua estrutura, interferindo nas suas Atributos físicos, como densidade do solo, porosidade, capacidade de suporte de carga do solo e resistência ao cisalhamento, (Faria et al., 1998; Kondo & Dias Junior, 1999; Singh & Malhi, 2006; Bertol et al., 2004; Pires et al., 2012), podendo causar a sua degradação reduzindo o desenvolvimento e a produtividade das culturas (Pagliai et al., 2004).

Em solos sob pastagem, que sofrem a ação do pisoteio animal, dependendo da umidade do solo e intensidade do pisoteio, podem ocorrer alterações nas Atributos físicos (Imhoff et al., 2000; Lima et al., 2004; Pires, 2007; Pires, 2012), causando sua compactação (Carvalho et al., 2010; Kondo et al., 1999; Pires, 2007; Pires, 2012).



Os bovinos podem exercer pressões no solo que variam de 350 a 400 kPa, mas a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados, pois ao movimentarem podem ficar apoiados ao solo com apenas duas patas (Proffitt et al., 1993; Betteridge et al., 1999; Nie et al., 2001; Pires et al., 2012) o que torna a compactação do solo causada pelo pisoteio animal assunto de extrema importância.

Vale ressaltar que o pisoteio animal tem efeito sobre os atributos do solo, principalmente nas camadas superficiais (Imhoff et al., 2000; Vzzotto et al., 2000; Salton et al., 2002; Lima et al., 2004; Bechmann et al., 2006; Lanzanova et al., 2007; Pires, 2007; Pires, 2012), resultando aumento da densidade do solo e da resistência à penetração e, conseqüentemente, reduções na infiltração de água e condutividade hidráulica saturada dos solos (Greenwood et al., 1997).

Em áreas de cultivo anual, principalmente se forem aptas à mecanização, as alterações na estrutura do solo, ocorrem devido à intensa mobilização do solo e o tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade (Silva et al., 2002; Pires, 2012). As máquinas agrícolas, apesar de terem massa maior do que os bovinos, podem exercer pressão menor sobre a superfície do solo devido ao seu peso ser distribuído em uma área maior (pneus e esteira) (Pires, 2012).

Desse modo, o monitoramento, o desenvolvimento e o uso dos modelos de capacidade de suporte de carga (MCSC) possibilitarão a identificação dos sistemas de manejo mais resistentes ou susceptíveis à compactação, permitindo o planejamento das atividades a fim de evitar ou minimizar a degradação da estrutura proveniente do processo de compactação.

Assim, os objetivos deste estudo foram: desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos, em função pressão de pré-consolidação e

da umidade volumétrica e identificar o sistema de manejo mais resistente e o mais suscetível a compactação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG, latitude de 18° 45' 23" S e longitude 44° 25' 51" W de Greenwich e a uma altitude de 632 m.

O clima é do tipo Cwa, conforme a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 22,2°C, tendo, no mês mais quente e no mês mais frio, temperaturas médias de 30°C e 15°C, respectivamente e a precipitação anual é de 1.308mm (Brasil, 1992).

O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura argilosa (Embrapa 2006). A caracterização física e química são apresentadas nos quadros 1 e 2.

**Quadro 1.** Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Manejo/Usos	Camada	Argila	Areia	Silte	ADA	IF	Dp
	cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----				%	Mg m <sup>-3</sup>
Milho	0-3	710 <sup>1</sup>	60 <sup>1</sup>	230 <sup>1</sup>	350 <sup>1</sup>	51 <sup>1</sup>	2,65 <sup>1</sup>
Milho	25-28	720	50	230	430	41	2,68
Cerrado	0-3	680	70	250	420	39	2,68
Cerrado	25-28	680	60	260	440	35	2,69
Floresta	0-3	500	110	390	250	50	2,59
Floresta	25-28	520	100	390	330	36	2,66
Ovinos	0-3	580	90	330	310	47	2,65
Ovinos	25-28	620	80	310	420	32	2,68
Piquetes	0-3	510	120	370	300	40	2,66
Piquetes	25-28	520	110	370	340	35	2,66

1 = Média de três repetições. ADA: argila dispersa em água; IF: índice de floculação; Dp: densidade de partículas.

**Quadro 2.** Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Manejo/ Uso	Camada cm	pH	P			K			Ca			Mg			Al			T	V	m	M.O
			---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>	---	mg	dm <sup>-3</sup>				
Milho	0-3	5,5 <sup>1</sup>	10,64 <sup>1</sup>	192,00 <sup>1</sup>	4,40 <sup>1</sup>	2,20 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	11,13 <sup>1</sup>	63,72 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	0,00 <sup>1</sup>	8,54	47,08	4,74	2,87	3,99 <sup>1</sup>					
Milho	25-28	5,3	2,60	86,00	2,90	0,90	0,20	8,54	47,08	4,74	2,87	3,99 <sup>1</sup>									
Cerrado	0-3	4,9	1,13	106,00	0,70	0,60	1,30	9,44	16,65	45,30	3,56										
Cerrado	25-28	4,9	0,28	70,00	0,30	0,30	1,30	8,65	9,01	62,50	2,48										
Floresta	0-3	5,4	1,71	196,00	6,50	2,00	0,10	13,52	66,59	1,10	5,43										
Floresta	25-28	5,4	0,56	180,00	4,20	1,50	0,30	12,46	49,45	4,64	3,99										
Ovinos	0-3	5,6	2,60	102,00	3,70	1,90	0,10	10,91	53,73	1,68	3,99										
Ovinos	25-28	5,3	0,00	34,00	1,60	0,90	0,70	8,89	29,10	21,28	2,36										
Piquetes	0-3	5,3	4,81	142,00	2,90	1,20	0,10	8,50	52,52	2,19	3,28										
Piquetes	25-28	5,3	0,00	34,00	1,20	0,60	0,40	5,93	31,82	17,47	2,11										

1 = Média de três repetições

Foram avaliados cinco usos/manejos: milho, cerrado, pastagem com ovinos, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica).

A área de piquetes com gado de leite é cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. *Xaraés*, implantado em janeiro de 2012 e pastejada com gado Holandes , com uma taxa de lotação de 4 a 5 UA. O primeiro pastejo foi realizado em meados de junho de 2012 e a partir de então foi adotado do ciclo de pastejo de 27 dias (3 dias de pastejo e 24 dias de descanso).

A área com milho é utilizada para este fim há 10 anos. Essa área é preparada com aração e gradagem com arado reversível de 3 discos (28 polegadas cada disco) e com grade niveladora com 16 discos de 18 polegadas, ambos acoplados em um trator MF 292, com 102 CV.

A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Para isso, em cada manejo/uso, foram coletadas aleatoriamente, 20 amostras com estrutura indeformada, nas camadas 0-3 cm e 25-28 cm, totalizando 200 amostras. Para essa coleta foi utilizado o amostrador de Uhland com anéis volumétricos de 6.40cm de diâmetro interno e 2.54cm de altura. Após a coleta, as amostras foram embaladas em filme PVC e posteriormente parafinadas para que preservassem a estrutura durante o transporte.

No laboratório, foi feito o preparo das amostras, retirando o excesso de solo, cuidando para que o volume do solo fosse igual ao volume do anel. Com o excesso de solo, foram realizadas análises de caracterização física e química. Após, as amostras indeformadas foram saturadas e equilibradas em diferentes umidades volumétricas, com o auxílio dos extratores de Richards, da unidade de sucção e algumas foram secas ao ar. Em seguida foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial utilizando-se consolidômetros da marca Board Longyer. As pressões aplicadas às amostras foram 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600 KPa. Cada pressão foi aplicada até obter 90% da deformação máxima (Taylor, 1948; Bowles, 1986; Holtz & Kovacs, 1981), obtendo-se as curvas de compressão do

solo nas quais foram determinadas as pressões de pré-consolidação ( $\sigma_p$ ) de acordo com Dias Junior & Pierce (1995). Aos valores de  $\sigma_p$  com os valores de  $\theta$  foram ajustados a uma regressão exponencial decrescente do tipo  $\sigma_p=10^{(a+b\theta)}$  (Dias Junior, 1994), onde  $\sigma_p$  é a pressão de pré-consolidação,  $\theta$  a umidade volumétrica do solo, e “a” e “b” os coeficientes de ajuste da regressão.

Os modelos de capacidade de suporte de carga das diferentes camadas nos diferentes usos/manejos foram comparados utilizando o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para verificar o efeito dos diferentes usos/manejos na estrutura do LVA nas camadas 0-3 e 25-28 cm os MCSC foram comparados usando o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [ $\theta_p = 10^{(a + b \theta)}$ ] dos diferentes usos/manejos, nas camadas 0-3 e 25-28 cm para o Latossolo Vermelho-Amarelo de acordo com o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989).

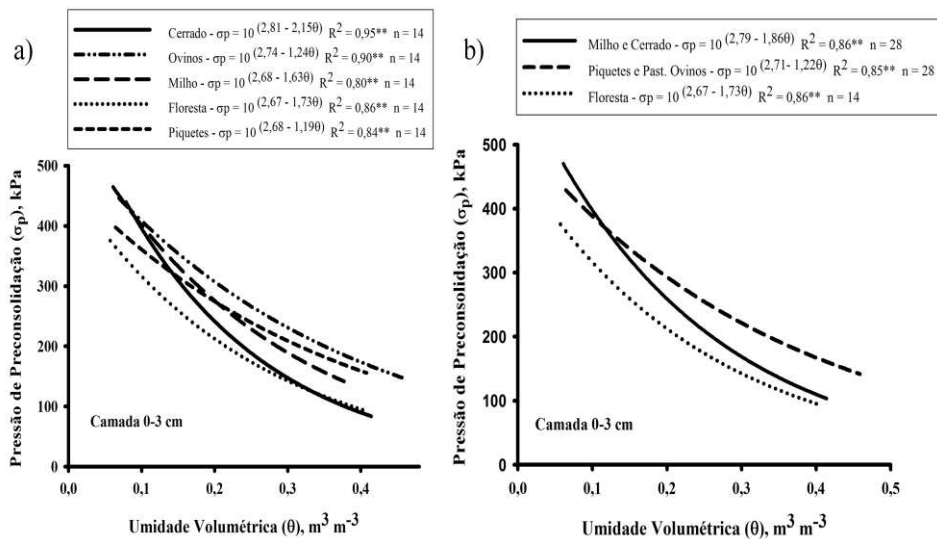
0-3 cm			
Usos/manejos	F	F	
		Coef. Angular, b	Coef. Linear, a
Cerrado vs Milho	H	ns	Ns
Cerrado e Milho vs Floresta	H	ns	*
Piquetes vs Past. Ovinos	H	ns	Ns
Piquetes e Past. Ovinos vs Cerrado e Milho	H	**	**
Piquetes e Past. Ovinos vs Floresta	H	**	**
25-28 cm			
Milho vs Past. Ovinos	H	ns	Ns
Floresta vs Piquetes	H	ns	Ns
Milho e Past. Ovinos vs Floresta e Piquetes	H	*	Ns
Milho e Past. Ovinos vs Cerrado	H	*	Ns
Floresta e Piquetes vs Cerrado	NH	**	Ns

F = Teste de significância de acordo com Snedecor & Cochran (1989); H = homogêneo, NH = não homogêneo, ns: não significativo; \*\* : significativo ao nível de 1%.

Os modelos de capacidade de suporte de carga [ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$ ] do LVA para os diferentes usos/manejos camada de 0-3 cm estão apresentados na figura

1a. Os valores de “a” (intercepto da regressão linearizada) variaram de 2,67 a 2,74, e os de “b” (coeficiente angular da regressão linearizada), entre -1,19 e -2,15(Figura 1a). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram todos significativos a 1 % pelo teste t-Student e variaram de 0,80 a 0,95.

Os MCSC na camada 0-3 cm, para Cerrado e Milho e para Piquetes e Pastagem com Ovinos, foram homogêneos e os coeficientes “a” e “b” foram não significativos (Tabela 1). Devido a isso, para cada um desses grupos, foi obtida uma nova equação, considerando todos os valores de  $\sigma_p$  e  $\theta$ , obtendo-se um único modelo para Cerrado e Milho e outro para Piquetes e Pastagem com Ovinos (Figura 1b). Quando se comparou esses MCSC entre si e com o MCSC do solo utilizado com Floresta eles foram diferentes (Tabela 1 e Figura 1b).

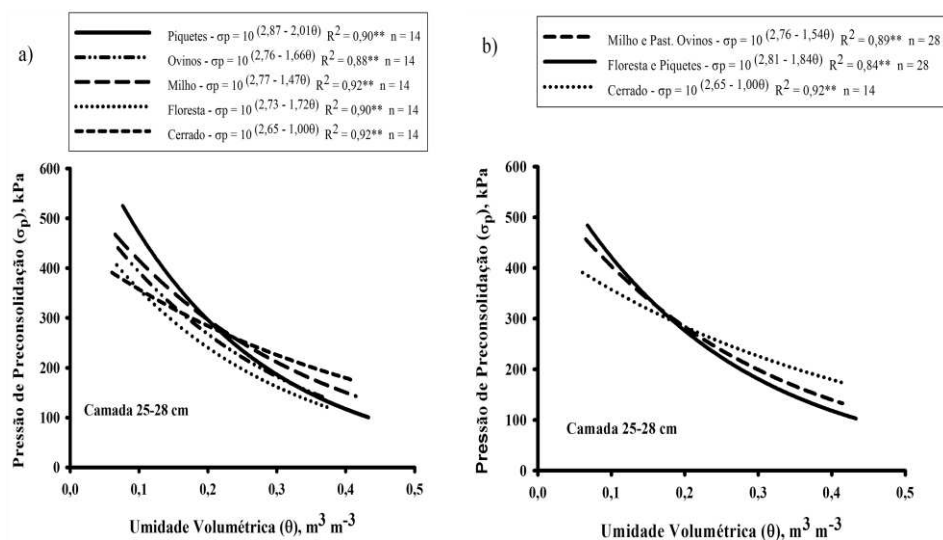


**Figura 1.** MCSC do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos na camada de 0-3 cm: a) antes da comparação estatística segundo Snedecor & Cochran (1989) e b) após a comparação estatística dos MCSC.



Observa-se na figura 1b que na camada de 0-3 cm, as áreas com Piquetes e Pastagem com Ovinos, em geral, foram as que apresentaram maior capacidade de suporte de carga, comprovando a capacidade do pisoteio animal em compactar a camada superficial do solo. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Pires (2012) e Pires et al. (2012). Apesar dos ovinos exercerem uma pressão no solo inferior aos bovinos (Sousa et al., 1998; Zimmer & Barbosa, 2005), os MCSC foram homogêneos, isto provavelmente ocorreu pelo fato do pouco tempo de pastejo nos piquetes com gado de leite. A área com Floresta foi a mais suscetível à compactação, devido ao maior acúmulo de matéria orgânica e, portanto, melhor estruturação do solo. As áreas com Milho e Cerrado apresentaram comportamento intermediário em relação à capacidade de suporte de carga.

Os modelos de capacidade de suporte de carga [ $\sigma_p = 10^{(a + b\theta)}$ ] do LVA para os diferentes usos/manejos camada de 25-28 cm estão apresentados na figura 2a. Os valores de “a” (intercepto da regressão linearizada) variaram de 2,65 a 2,87, e os de “b” (coeficiente angular da regressão linearizada), entre -1,19 e -2,01. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram todos significativos a 1 % pelo teste t-Student e variaram de 0,88 a 0,92.



**Figura 2.** MCSC do Latossolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes usos/manejos na camada de 25-28 cm: a) antes da comparação estatística segundo Snedecor & Cochran (1989) e b) após a comparação estatística dos MCSC.

Os MCSC na camada 25-28 cm, para Milho e Pastagem com Ovinos e para Floresta e Piquetes, foram homogêneos e os coeficientes “a” e “b” foram não significativos (Tabela 1). Devido a isso, para cada um desses grupos, foi obtida uma nova equação, considerando todos os valores de  $\sigma_p$  e  $\theta$ , obtendo-se um único modelo para Milho e Pastagem com Ovinos e outro para Floresta e Piquetes (Figura 2b). Quando se comparou esses MCSC entre si e com o MCSC do solo utilizado com Cerrado foram estatisticamente diferentes (Tabela 1 e Figura 2b).

Observa-se na figura 2b que na camada de 25-28 cm, as áreas com Floresta e Piquetes, apresentaram maior capacidade de suporte de carga em umidades inferiores a  $0,18m^3m^{-3}$  e a área com Cerrado, nesse intervalo de

umidade, apresentou-se mais suscetível à compactação. Porém, acima desse valor de umidade, ocorre uma inversão do comportamento dessas áreas quanto à CSC, com o Cerrado apresentando-se com maior CSC e Floresta e Piquetes, maior suscetibilidade à compactação. As áreas com Milho e Pastagem com Ovinos apresentaram comportamento intermediário em relação à capacidade de suporte de carga.

### **CONCLUSÕES**

Os usos/manejos que indicaram uma maior resistência à compactação do solo na camada de 0-3 cm foram o Cerrado e a Pastagem com ovinos. Na camada 25-28 cm, os usos/manejos que indicaram uma maior resistência à compactação foram Floresta e Piquetes em umidades menores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e o Cerrado em umidades maiores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$ .

Já os usos/manejos mais suscetíveis à compactação foram: na camada de 0-3 cm, a Floresta e na camada 25-28 cm, o Cerrado em umidades menores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$  e Floresta e Piquetes, maiores que  $0,18\text{m}^3\text{m}^{-3}$ .

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos órgãos CNPq, Fapemig e Capes pelo apoio financeiro e à UFVJM pela concessão da área de estudo.

**LITERATURA CITADA**

- BECHMANN, J. et al. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112-118, Jan. 2006.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Atributos físicos do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28: 155-165, 2004.
- 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. *Austr. J. Soil Res.*, 37:743-760, 1999.
- BOWLES, J.E. *Engineering properties of soils and their measurements*. 3.ed. New York, McGraw Hill, 1986. 218p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Normais climatológicas 1961-1990. Brasília, MARA, 1992. 84 p.
- CARVALHO, R. C. R.; ROCHA, W. W.; PINTO, J. C.; PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S. & NUNES, A. H. B. Soil shear strength under non-irrigated and Irrigated short duration grazing systems. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:631-638, 2010.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do Solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V. & SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 55-94.

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

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Technol., 8:139-151, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FARIA, J.C.; SCHAEFER, C.E.R.; RUIZ, H.A. & COSTA, L.M. Effects of weed control on physical and micropedological properties of brazilian ultisol. r. Bras. Ci. solo, 22:731-741, 1998.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. Australian Journal of Experimental Agriculture, v.37, p. 413-419, 1997.

HOLTZ, R. D. & KOVACS, W. D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981. 733 p.

- IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:1493-1500, 2000.
- KONDO, M.K. & DIASJUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *R. Bras. Ci. solo*, 23:211-218, 1999.
- LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.
- LEITE, L.F.C.; FREITAS, R.C.A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S.R.S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. *Revista Ciências Agrônômicas*, Lourenço Marques, v.41, n.1, p.29-35, jan./mar. 2010.
- LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. & LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:945-951, 2004.
- 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. *Austr. J. Agric. Soil Res.*, 52:37-43, 2001.
- PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. & PELLEGRINI, S. Soil structure and the effect of management practices. *Soil Till. Res.*, 79:133-143, 2004.

- PIGNATARO NETTO, I. T. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. R. Bras. Ci. Solo, 33:1441-1448, 2009.
- PIRES, B.S. Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes manejos e intensidades de uso na região de Passos, MG. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 62p. (Tese de Mestrado)
- PIRES, B.S. Capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob pastagens ao longo do tempo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2012. 113p. (Tese de Doutorado)
- PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. & CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 36:635-642, 2012.
- 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. Austr. J. Agric. Soil Res., 44:317-331, 1993.
- SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. Revista Plantio Direto, Santa Maria, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.
- SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico: I., estado inicial de compactação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 26, n. 1, p. 1-8, jan./mar. 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 Till. Res.*, 85:143-153, 2006.

SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. *Statistical methods*. 8ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1989. 503p.

SOUSA, A. R., SILVA, A. B., RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO DA ÁGUA, 12, 1998, Fortaleza. *Anais...Fortaleza: SBCS*, 1998. p.256-257.

TAYLOR, D. W. *Fundamentals of soil mechanics*. New York, J. Wiley, 1948. 770 p.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas Atributos físicos do solo de várzea. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, nov./dez. 2000.

ZIMMER, A. H. & BARBOSA, R. A. Manejo de pastagens para produção sustentável. In: ZOOTEC, 2005, Campo Grande-MS. *Anais...* p. 1-33.

**(VERSÃO PRELIMINAR)**



**Artigo 3 Resistência ao cisalhamento de um latossolo vermelho-amarelo submetido a diferentes usos e manejos(2)**

Paula Sant'Anna Moreira Pais<sup>(2)</sup>, Moacir de Souza Dias Junior<sup>(3)</sup>, Wellington Willian Rocha<sup>(4)</sup>, Bruno da Silva Pires<sup>(5)</sup>, Zélio Resende de Souza<sup>(6)</sup>, Piero Iori<sup>(7)</sup>

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão da Revista Brasileira de Ciência do Solo**

---

(2) Parte da Tese de Doutorado da primeira autora.

(2) Engenheira-Agrônoma, Doutoranda em Ciência do Solo no Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – DCS/UFLA. Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista Embrapa/Café. E-mail: paulaufla@yahoo.com.br.

(3) Engenheiro Agrícola, PhD em Crop and Soil Science. Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista CNPq e Pesquisador Mineiro da FAPEMIG. E-mail: msouzadj@dcs.ufla.br.

(4) Engenheiro Agrícola, Doutor em Ciência do Solo, Professor Adjunto do Departamento de Agronomia (Física do Solo), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. E-mail: wwillian@ufvjm.edu.br.

(5) Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor da Universidade do Estado e Minas Gerais, Campus de Passos. E-mail: piresbruno@yahoo.com.br.

(6) Agrônomo, Mestrando em Ciência do Solo no Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – DCS/UFLA. E-mail: zeliodesouza@yahoo.com.br.

(7) Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo, Professor Substituto da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho, Registro, SP. E-mail: pieroiori@hotmail.com.

## RESUMO

A ação do pisoteio animal em áreas de pastagem pode acarretar em alterações drásticas na estrutura do solo como a compactação do solo, resultando em aumento da sua resistência ao cisalhamento. Desse modo, os objetivos deste trabalho foram obter as envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo/uso de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e identificar o manejo/uso mais resistente e o mais susceptível à compactação. O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG (Latitude 18° 45' 23" S, Longitude 44° 25' 51" W e Altitude de 632 m). Os usos/manejos avaliados foram: cerrado, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica). A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Em cada manejo/uso, foram coletadas, 48 amostras indeformadas de solo com amostrador especialmente desenvolvido para ensaios de cisalhamento direto, na forma de prisma de base quadrada com dimensões de 5,95x 5,95 cm e 2,2 cm de altura. Em cada ponto de amostragem foram coletadas quatro amostras. Após a coleta, as amostras foram embaladas em filme PVC e posteriormente parafinadas para que preservassem a estrutura durante o transporte. No laboratório, foi feito o toalete das amostras indeformadas, retirando o excesso de solo, cuidando para que o volume do solo fosse igual ao volume do anel. Posteriormente as amostras foram saturadas e equilibradas nas tensões -2 kPa e -6 kPa, em seguida elas foram submetidas ao ensaio de cisalhamento direto. No ensaio de cisalhamento direto, foi utilizada 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. 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. As envoltórias de resistência foram geradas com o auxílio do software Sigma Plot (2008) e as comparações dessas envoltórias foram feitas segundo o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989). A área de piquetes com gado de leite, que sofreu ação do pisoteio animal, apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, resistência à compactação, tanto quando equilibrada à -2 kPa quanto à -6 kPa. Maior suscetibilidade à compactação, observada pela menor resistência ao cisalhamento, foi obtida à -2 kPa pela Floresta e Cerrado e à -6 kPa pela Floresta.

Termos de indexação: Estrutura do solo, mecânica do solo, tensão cisalhante.

**SUMMARY: SOIL SHEAR STRENGTH OF A RED-YELLOW LATOSOL UNDER DIFFERENT USE AND MANAGERMENTS**

*The action of animal trampling in pasture areas can result in drastic changes in soil structure and soil compaction, resulting in increase soils shear strength. Thus, the objectives of this study were to obtain combination of shear strength and its parameters for different managements/uses of an Red-Yellow Latosol (LVAd) and identify the management/use tougher and more susceptible to compaction. The study was conducted at the Experimental Farm of Moura (FEM), belongs to the Federal University of the Jequitinhonha and Mucuri Valleys (UFVJM), located in Curvelo, MG (Latitude 18 ° 45 '23 "S, Longitude 44 ° 25' 51" W and altitude 632 m). Soil sampling was conducted in January 2013. In each management/use were collected 48 samples with undisturbed structure with sampler specially developed for direct shear tests, in the form of prism with base square with dimensions of 5.95 x 5.95 cm and 2.2 cm of height. At each sampling point, four samples were collected. After sampling, the samples were packed in PVC film and subsequently paraffin to preserve the structure during transport. Subsequently the samples were saturated and balanced at -2kPa and -6 kPa tensions, then they were subjected to direct shear test. In the direct shear test, was used a shear press manufactured by ELE International (Digital Shear Machine, 26-112 - 9901X0089). The equipment was operated with speed horizontal displacement of  $3.33 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$  and normal*

*stresses of 194, 304, 415 and 526 kPa. Thus, were obtained by combining the data pairs: shear stress obtained by the press and normal stresses, established before the start of the test. The combination of shear strength were obtained with the Sigma Plot (2002) software and thr comparisons of these combination were made according to the procedure described in Snedecor and Cochran (1989). The area of paddocks with dairy cattle, with had cattle trampling, showed higher shear strength, and consequently greater resistance to compaction, when equilibrated at -2 kPa and -6 kPa. The greater susceptibility to compaction was obtained at -2 kPa by forest and savannah and -6 kPa by forest, due to lower shear strength.*

*Index Terms: Soil structure, soil mechanical, shear stress.*

## INTRODUÇÃO

Em solos sob pastagem, devido à ação do pisoteio animal e dependendo da umidade e intensidade do pisoteio, podem ocorrer alterações drásticas estrutura do solo (Imhoff et al., 2000; Lima et al., 2004; Pires, 2007; Pires et al., 2012), como a compactação do solo, que é considerada uma das maiores causas de degradação do solos.

O efeito do pisoteio animal no solo, de acordo com Kondo & Dias Junior (1999); Cassol (2003) e Pires et al. (2012), se restringe às camadas mais superficiais, uma vez que o peso do animal se concentra em uma área pequena do casco (Pires, 2007; Pires, 2012), podendo ocorrer selamento superficial do solo e, conseqüentemente, processos erosivos, gerando um rápido processo de degradação da pastagem.

Desse modo, é extremamente importante estudos que quantifiquem essas alterações na estrutura do solo, a fim de se adotar estratégias de manejo mais eficientes, evitando o depauperamento físico do solo obtendo-se, portanto, uma produção mais sustentável.

A resistência do solo ao cisalhamento, que muitas vezes é desconsiderada nos estudos de uso e manejo do solo, é uma importante propriedade dinâmica do solo, pois pode ser usada como um indicador de compactação do solo (Ayers & Perumpral, 1982, Schjonning, 1991, Rocha et al., 2002; Pires, 2007; Schjonning & Rasmussen, 1991; Silva et al., 2009; Pires, 2012).

A resistência ao cisalhamento do solo é a tensão máxima de cisalhamento que o solo consegue suportar sem que ocorra a ruptura (Rocha, 2003). A resistência ao cisalhamento é expressa pela equação de Mohr-Coulomb  $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg}\varphi$  (Ramamurthy, 2001). Nesta equação,  $\tau$  é a máxima tensão cisalhante suportada pelo solo;  $\sigma_n$  é a tensão normal que a superfície de falhamento é sujeita,  $c$  é o intercepto de coesão ou de coesão aparente do solo;  $\varphi$  é o ângulo de atrito interno do solo (ângulo formado pela força normal com a resultante das forças a que o maciço terroso está submetido). Com essa equação define-se a envoltória de resistência ao cisalhamento, e qualquer pressão cisalhante acima da envoltória, resultará em ruptura do solo (Rocha, 2003; Pires, 2007; Pires, 2012; Iori et al., 2012).

Esse trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: a) obter envoltórias de resistência ao cisalhamento e seus parâmetros para os diferentes sistemas de manejo/uso de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVAd); b) identificar o manejo/uso mais resistentes e o mais susceptível à compactação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Moura (FEM), pertencente à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), situada em Curvelo, MG, latitude de 18° 45' 23" S e longitude 44° 25' 51" W de Greenwich e a uma altitude de 632 m.

O clima é do tipo Cwa, conforme a classificação climática de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 22,2°C, tendo, no mês mais quente e no mês mais frio, temperaturas médias de 15°C e 30°C, respectivamente e a precipitação anual é de 1.308mm (Brasil, 1992).

O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argilosa (Embrapa 2006). As caracterizações física e química estão apresentadas nos quadros 1 e 2.

**Quadro 1. Caracterização física do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVAd).**

	Profundidade	Argila	Areia	Silte	ADA	IF	Dp
Manejo/Uso	Cm	-----g kg <sup>-1</sup> -----				%	Mg m <sup>-3</sup>
			-				
Cerrado	0-3	680	70	250	420	39	2,68
Floresta	0-3	500	110	390	250	50	2,59
Piquetes	0-3	510	120	370	300	40	2,66

1 = Média de três repetições. ADA: argila dispersa em água; IF: índice de floculação; Dp: densidade de partículas.

**Quadro 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).**

Manejo/ Uso	Prof. cm	pH	P ---mg dm <sup>-3</sup> ---	K ---	Ca	Mg -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Al	T	V -----%/-----	M	M.O
Cerrado	0-3	4,9	1,13	106,00	0,70	0,60	1,30	9,44	16,65	45,30	3,56
Floresta	0-3	5,4	1,71	196,00	6,50	2,00	0,10	13,52	66,59	1,10	5,43
Piquetes	0-3	5,3	4,81	142,00	2,90	1,20	0,10	8,50	52,52	2,19	3,28

I = Média de três repetições

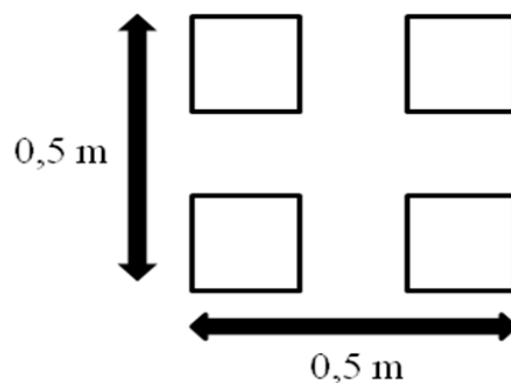
Na fazenda experimental foram avaliados três usos/manejos: cerrado, piquetes com gado de leite e uma área de floresta (Mata Atlântica).

A área de piquetes com gado de leite é cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. *Xaraés*, implantado em janeiro de 2012 e pastejada com gado Holandes , com uma taxa de lotação de 4 a 5 UA. O primeiro pastejo foi realizado em meados de junho de 2012 e a partir de então foi adotado do ciclo de pastejo de 27 dias (3 dias de pastejo e 24 dias de descanso).

A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2013. Para isso, em cada manejo/uso, foram coletadas, 48 amostras indeformadas de solo com amostrador especialmente desenvolvido para ensaios de cisalhamento direto, com anéis na forma de prisma de base quadrada 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 1), que foram submetidas a quatro tensões normais diferentes (194, 304, 415 e 526 kPa), visando obter a envoltória de resistência ao cisalhamento. A amostragem foi realizada na camada de 0-3 cm, por ser esta a mais afetada pelo pisoteio animal (Bechmann et al., 2006; Imhoff et al., 2000; Lanzaova et al., 2007; Lima et al., 2004; Pires, 2012; Pires, 2007; Salton et al., 2002; Vzzotto et al., 2000).





**Figura 1. Esquema de coleta das amostras.**

Após a coleta das amostras indeformadas, estas foram embaladas em filme plástico, parafinadas para garantir que a estrutura das amostras fosse preservada e, posteriormente foram identificadas.

Para a obtenção das envoltórias de resistência ao cisalhamento, essas amostras indeformadas coletadas foram submetidas ao ensaio de resistência ao cisalhamento. Antes do ensaio de cisalhamento direto, elas foram saturadas e equilibradas em duas tensões de retenção de água. Foram utilizadas 24 amostras por tensão (24 amostras a -2 kPa e 24 amostras a -6 kPa). As tensões foram escolhidas para que se tenha uma condição de solo saturado e solo próximo à capacidade de campo.

No ensaio de cisalhamento direto, foi utilizada 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 destas 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) (PIRES, 2012). Para se saber a tensão

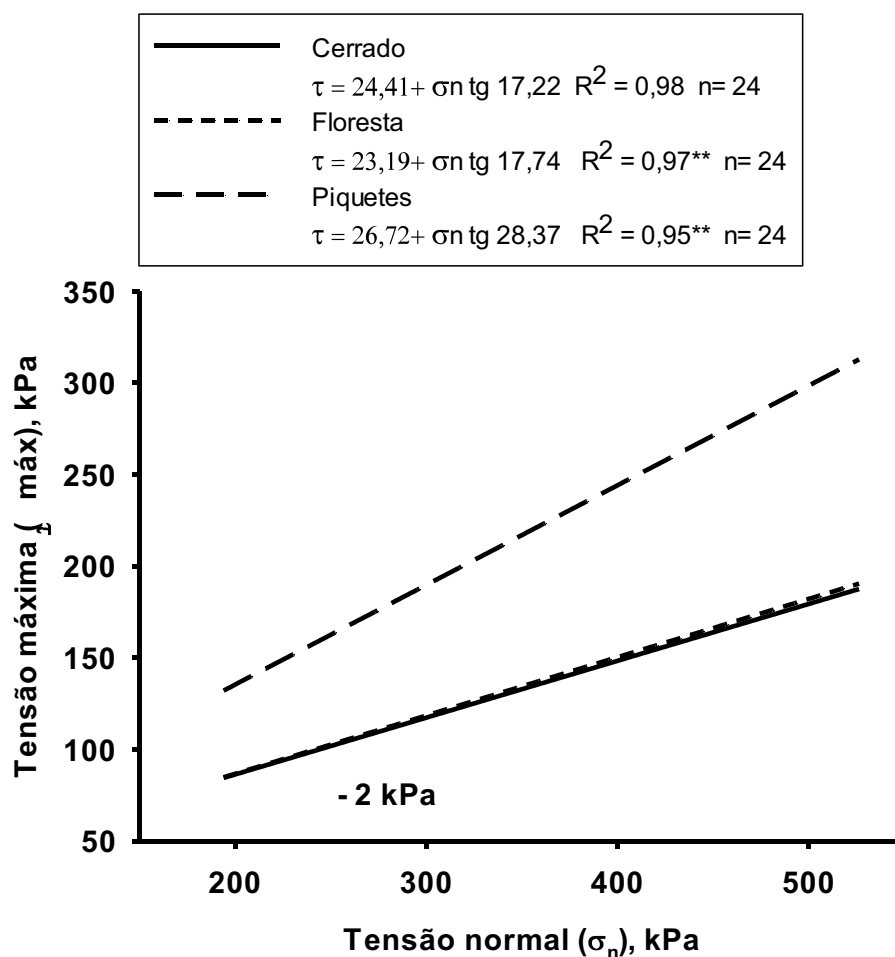
aplicada pelo animal no solo, foi dividido o peso do animal pela área do casco, obtendo-se uma tensão média de 280 kPa (PIRES, 2012).

O resultado do ensaio foi registrado numérica e graficamente pela variação da tensão de cisalhamento em função da deformação (Terzaghi et al., 1997). Dessa forma, as envoltórias de resistência ao cisalhamento foram obtidas pela combinação dos pares de dados: tensões cisalhantes obtidas na prensa e tensões normais, estabelecidas antes do início do ensaio.

As envoltórias de resistência foram geradas com o auxílio do software Sigma Plot (2008) e as comparações dessas envoltórias foram feitas segundo o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA submetido a diferentes usos/manejos, com amostras equilibradas na tensão de água de -2 kPa estão apresentadas na figura 2.



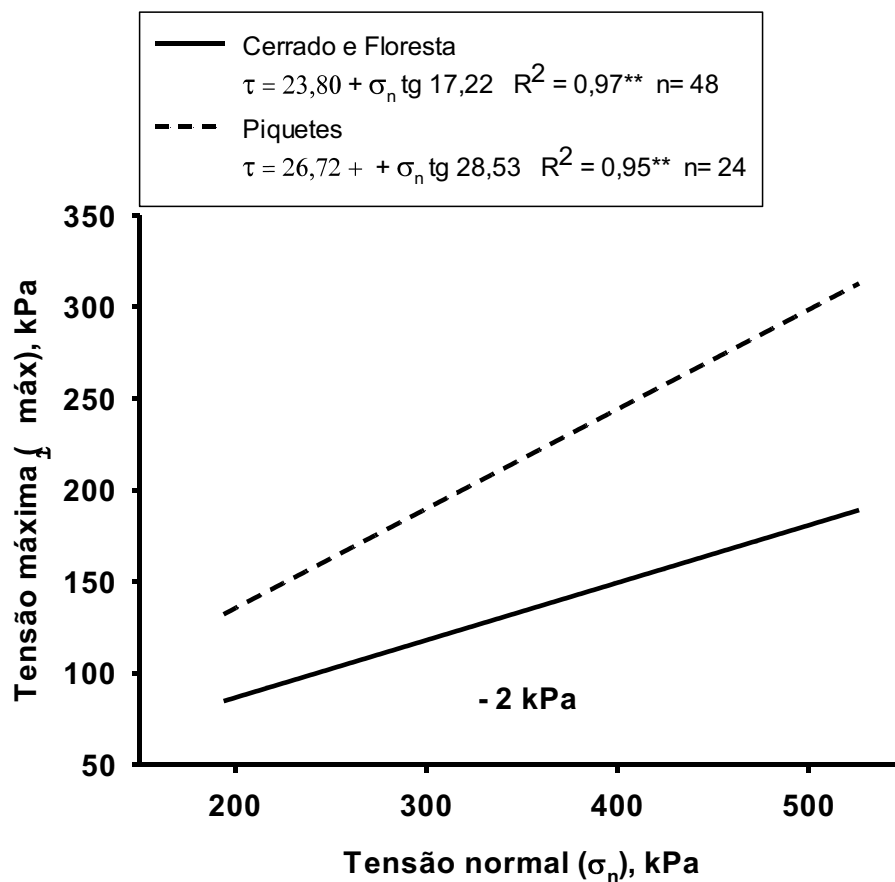
**Figura 2. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -2 kPa.**

No quadro 3 é apresentado o resumo da análise estatística das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA a -2 kPa, sob os diferentes usos/manejos.

**Quadro 3. Testes de homogeneidade, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a -2 kPa.**

Manejo	F	F	
		Coef. Angular, b	Coef. Linear, a
Cerrado vs Floresta	H	Ns	Ns
Cerrado e Floresta vs Piquetes	H	**	**

No quadro 3, observa-se que as envoltórias de resistência ao cisalhamento para floresta e cerrado não foram diferentes, portanto uma nova equação foi ajustada, considerando todos os valores de tensão cisalhante e tensão normal, obtendo-se uma única envoltória de resistência ao cisalhamento para floresta e cerrado (Figura 3). Comparando-se esta envoltória com a envoltória dos piquetes de gado de leite, observa-se que elas se diferiram (Quadro 3 e Figura 3).



**Figura 3. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVAd submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -2 kPa.**

Analisando-se as envoltórias de cisalhamento apresentadas na figura 3 nota-se que o solo sob piquetes foi o que apresentou a maior resistência ao cisalhamento demonstrado desse modo, o efeito compactador do pisoteio animal na estrutura do solo. Estes resultados corroboram com os observados por Iori et al.(2012), Pires (2012) e Pires (2007). Os solos com maior compactação, em

geral, apresentam uma maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999), devido à maior proximidade das partículas, resultando em menor índice de vazios e maior esforço para se preparar o solo para o cultivo (Pires, 2012; Pires, 2007).

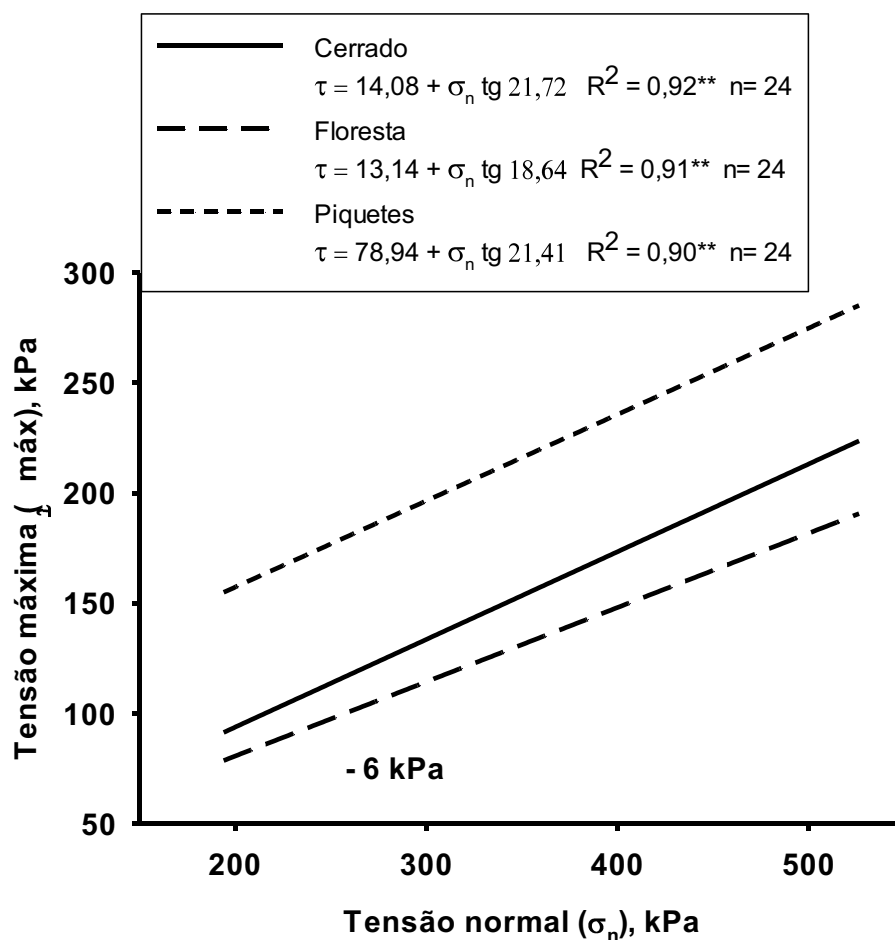
Observa-se na figura 3 que os valores de coesão aparente foram muito diferentes, porém com valores próximos, mas o ângulo de atrito interno da área de piquetes foi um pouco maior, confirmando o resultado negativo do pisoteio animal.

No quadro 4 é apresentado o resumo das análises estatísticas das envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA submetido a diferentes usos/manejos, com as amostras equilibradas a -6 kPa.

**Quadro 4. Testes de homogeneidade, de acordo com Snedecor e Cochran (1989), entre as envoltórias de resistência ao cisalhamento de um Latossolo Vermelho-Amarelo com amostras equilibradas a -6 kPa.**

Manejo	F	F	
		Coef. Angular, b	Coef. Linear, a
Cerrado vs Floresta	H	ns	**
Cerrado vs Piquetes	H	ns	**
Floresta vs Piquetes	NH	ns	**

Na figura 4 são apresentadas as envoltórias de resistência ao cisalhamento do LVA equilibrado a -6 kPa submetidos a diferentes usos/manejos.



**Figura 4. Envoltórias de resistência ao cisalhamento de um LVA submetido a diferentes usos/manejos, na camada 0-3 cm, com amostras equilibradas a -6 kPa.**

A floresta apresentou menor resistência ao cisalhamento (Figura 4) em relação ao cerrado e a área com piquetes de gado de leite. Isto indica uma menor alteração da estrutura do solo nesta área em relação às demais, pois esta área apresenta o menor valor de coesão aparente (Figura 4).

O estudo de resistência ao cisalhamento feito com amostras à -6 kPa, assim como o observado para as amostras equilibradas à -2 kPa, demonstrou degradação física resultante do pisoteio animal, pois novamente a área de piquetes apresentou a maior resistência ao cisalhamento, corroborando do Pires (2012) e ainda um maior valor de coesão aparente (Figura 4).

### **CONCLUSÕES**

A área de piquetes com gado de leite, que sofreu ação do pisoteio animal, apresentou maior resistência ao cisalhamento e, conseqüentemente, resistência à compactação, tanto quando equilibrada a -2 kPa quanto à -6 kPa. Maior suscetibilidade à compactação, observada pela menor resistência ao cisalhamento, foi obtida a -2 kPa pela Floresta e Cerrado e a -6 kPa pela Floresta.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos órgãos CNPq, Fapemig e Capes pelo apoio financeiro e à UFVJM pela disponibilização da área de estudo.

### **LITERATURA CITADA**

AYERS, P. D.; PERUMPRAL, J. V. Moisture and density effect on cone index. Trans. American Society 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.
- BECHMANN, J. et al. Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v. 87, n. 1, p. 112-118, Jan. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Normais climatológicas 1961-1990. Brasília, MARA, 1992. 84 p.
- CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.
- IORI, P.; DIAS JUNIOR, M. S. SILVA, R. B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 28:1493-1500, 2012.

- KONDO, M. K. & DIASJUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. R. Bras. Ci. Solo, 23:211-218, 1999.
- LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1131-1140, set./out. 2007.
- LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 945-951, nov./dez. 2004.
- PIRES, B. S. Resistência ao cisalhamento e compressibilidade de um Latossolo sob diferentes usos e manejos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 86p. (Tese de Doutorado)
- PIRES, B. S. Capacidade de suporte de carga e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob pastagens ao longo do tempo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2012. 113p. (Tese de Doutorado)
- PIRES, B. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; ROCHA, W. W.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. & CARVALHO, R. C. R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 36:635-642, 2012.
- RAMAMURTHY, T. Shear strength response of some geological materials in triaxial compression. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Oxford, v. 38, n. 5, p. 683-697, July 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.
- ROCHA, W. W. et al. Resistência ao cisalhamento e grau de intemperismo de cinco solos na Região de Lavras, MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 26, n. 2, p. 297-303, mar./abr. 2002.
- SALTON, J. C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. Revista Plantio Direto, Santa Maria, v. 69, n. 1, p. 32-34, 2002.
- SCHJONNING, P.; RASMUSSEN, K. J. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 53, n. 1/2, p. 69-82, Sept. 1991.
- SIGMA PLOT (2008) For windows, version 10.0. Systat Software.
- SILVA, R. B. et al. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of charges on soil structure in sugarcane fields of São Paulo State, Brasil. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, May 2009.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. Statical methods. 8nd ed. 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.

VZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas Atributos físicos do solo de várzea. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 965-969, nov./dez. 2000

**(VERSÃO PRELIMINAR)**