

**ATRIBUTOS FÍSICOS E SUSCETIBILIDADE  
À COMPACTAÇÃO DE SOLOS SOB  
PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE  
MINAS GERAIS**

**LAYRTON FERREIRA DA SILVA**

**2008**

**LAYRTON FERREIRA DA SILVA**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E SUSCETIBILIDADE À  
COMPACTAÇÃO DE SOLOS SOB PASTAGENS  
CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Science*”.

**Orientador**

**Prof. D. Sc. Luiz Henrique de Souza**

**Co-Orientador**

**Prof. D. Sc. Marcos Koiti Kondo**

**UNIMONTES  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2008**

S586a Silva., Layrton Ferreira da.  
Atributos físicos e suscetibilidade à compactação de solos sob pastagens cultivadas no Norte de Minas Gerais [manuscrito] / Layrton Ferreira da Silva. – 2008.  
67 f. : il.

Referências Bibliográficas: f. 64-67.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-árido, área de Concentração Produção Vegetal, 2008.

Orientador: Prof. D. Sc. Luiz Henrique de Souza.

1. Compressibilidade. 2. Pressão de preconsolidação. 3. Gramíneas forrageiras. I. Souza, Luiz Henrique de. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

**LAYRTON FERREIRA DA SILVA**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E SUSCETIBILIDADE À  
COMPACTAÇÃO DE SOLOS SOB PASTAGENS  
CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Science*”.

**APROVADA em 21 de maio de 2008.**

Prof. D. Sc. Marcos Koiti Kondo (Co-Orientador)	UNIMONTES
Prof. D. Sc. Rodinei Facco Pegoraro	UNIMONTES
Prof. D. Sc. Wellington Willian Rocha	UFVJM/Diamantina

Prof. D. Sc. Luiz Henrique de Souza  
UNIMONTES  
(Orientador)

**UNIMONTES/JANAÚBA  
MINAS GERAIS - BRASIL**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pois sem a graça da vida, nada poderíamos realizar.

Ao apoio incondicional de toda a minha família, especialmente minha mãe e meu pai.

Ao programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido, do Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES.

À FAPEMIG pela concessão de financiamento para realização do projeto e concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semi-Árido da UNIMONTES.

Em especial ao professor Marcos Koiti Kondo, pela paciência na lida do dia-a-dia, por todos os ensinamentos transmitidos e pela amizade concedida.

Ao professor Luiz Henrique de Souza pela amizade e preocupações divididas.

Aos colegas de mestrado: Ricardo Carvalho, João José, Ellen, Rosi, Solange, Lize, Ildeu, Wesley, Allan, Virgílio Jamir (Virgilão) pelo convívio e algumas amizades formadas.

À secretária do Mestrado, Grazielle, pela paciência e presteza.

Aos motoristas que nos conduziram às coletas de solo sempre com bastante segurança, especialmente Fábio, exemplo de funcionário.

Aos alunos de graduação em Zootecnia Igor Alexandre e Jaime Spínola e ao aluno de graduação em Agronomia Artenis Jardel pelo auxílio nas coletas e análises de solo (ô luta).

Ao amigo e Engenheiro Agrícola e Ambiental Gustavo Vitorino (Gustavão).

Ao Klebão e Amandinha, pelo apoio e confiança incondicional.

À Maíra, pela maior das conquistas: Samuel Ferreira Pfeiffer.

A todos os meus amigos de Montes Claros, pelo apoio e credibilidade a cada dia.

**Muito Obrigado a todos.**

**À minha mãe  
Ao meu pai  
Aos meus irmãos e minhas cunhadas  
Aos meus lindos e queridos sobrinhos  
E, principalmente, ao meu filho e Maíra**

**Dedico**

**“É melhor lançar-se na luta em busca de triunfo, mesmo se expondo  
ao insucesso, do que formar fila com os temerosos que nem gozam nem  
sofrem muito. Vivem nessa penumbra cinzenta sem conhecer a vitória ou a  
derrota.”**

**(Franklin D. Roosevelt)**

**“Destruam as cidades e conservem os campos, e estas ressurgirão.  
Destruam os campos e conservem as cidades e estas sucumbirão”**

**(Abraham Lincoln)**

## **BIOGRAFIA**

Layrton Ferreira da Silva é natural de Montes Claros, Minas Gerais, nascido aos 23 de junho de 1976, filho de Osvaldo Ferreira da Silva e Teresinha Ferreira da Silva.

Estudou na mesma cidade onde nasceu, cursando as primeiras séries do ensino básico no Colégio Imaculada Conceição (maternal, 1º e 2º períodos) e Escola Estadual Dom João Antônio Pimenta (pré-primário à 4ª série). Em seguida transferiu-se para a Escola Técnica da Fundação Educacional Montes Claros onde concluiu o primeiro grau, encaminhando-se em seguida para o Núcleo de Ciências Agrárias da UFMG em Montes Claros onde deu início à sua formação profissional, concluindo em 1995 o 2º grau como Técnico em Agropecuária.

Ingressou em 1997 no curso de Agronomia da UNIMONTES em Janaúba, Minas Gerais, onde graduou-se Engenheiro Agrônomo em julho de 2002. Em 2004 deu início à especialização em Manejo de Pastagens pelas Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU, sendo aprovado no ano de 2006 no concurso seletivo para o programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal no Semi-Árido da UNIMONTES em Janaúba.





## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS .....	i
RESUMO GERAL .....	iii
GENERAL ABSTRACT.....	iv
1 INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	3
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
<b>CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS.....</b>	<b>13</b>
RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	16
1 INTRODUÇÃO .....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	20
2.1. Tratamentos e amostragem .....	20
2.2. Análises laboratoriais .....	21
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
<b>CAPÍTULO II - PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO E ÍNDICE DE COMPRESSÃO DO SOLO INFLUENCIADOS PELO TIPO DE ESPÉCIE FORRAGEIRA EM PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS.....</b>	<b>32</b>
RESUMO .....	34
ABSTRACT .....	36
1 INTRODUÇÃO .....	38
2 MATERIAL E MÉTODOS .....	44
2.1. Tratamentos e amostragem .....	44
2.2. Análises laboratoriais .....	45
2.3. Delineamento experimental e análise estatística .....	49
2.4. Pressão de preconsolidação.....	50
2.5. Índice de compressão.....	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52

<b>3.1. Pressão de preconsolidação.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2. Índice de compressão.....</b>	<b>59</b>
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ds.....	Densidade do Solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ );
Dp.....	Densidade de Partículas ( $\text{Mg m}^{-3}$ );
VTP.....	Volume Total de Poros ( $\text{m}^{-3} \text{ m}^{-3}$ );
U .....	Umidade Gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ );
$\sigma_p$ .....	Pressão de Preconsolidação (kPa);
m .....	Índice de Compressão ( $\text{Mg m}^{-3}$ );



## RESUMO GERAL

SILVA, Layrton Ferreira da. **Efeito de espécies forrageiras na suscetibilidade à compactação de solos sob pastagens cultivadas.** 2008. 68p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-Árido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

A produção pecuária no Brasil baseia-se principalmente na exploração de pastagens como forma mais barata de alimentação dos animais. A degradação das pastagens, porém, induz à redução dos níveis de produtividade e elevação dos custos de produção. A compactação do solo é fator de grande importância no processo de degradação, induzindo ao menor desenvolvimento de raízes e conseqüentemente da parte aérea das plantas, redução na infiltração de água no solo e aparecimento de áreas de solo descoberto com maior predisposição à erosão. O objetivo deste trabalho foi caracterizar fisicamente o solo sob diferentes espécies forrageiras no Norte de Minas Gerais e avaliar o efeito das espécies forrageiras na suscetibilidade à compactação dos solos sob pastagens cultivadas. Pela caracterização física do solo, tomando-se por base a densidade do solo, observou-se um maior nível de compactação na superfície do solo (0–0,05 m) para todas as espécies. A maior compactação foi observada para o solo sob *Cenchrus ciliaris*. O hábito de crescimento do capim também exerceu influência sobre a compactação, uma vez que os solos sob *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum* apresentaram comportamento semelhante e os solos sob *Brachiaria decumbens* e *B. brizantha* apresentaram melhor condição física. Em relação à suscetibilidade à compactação, avaliada pela capacidade de suporte de carga, representada pela pressão de preconsolidação, observou-se que em pastagens implantadas há mais de 10 anos, há uma maior suscetibilidade à compactação com o aumento da umidade do solo, sendo influenciada também pelo hábito de crescimento das espécies forrageiras e a presença de material vegetal em decomposição.

---

<sup>1</sup> **Comitê Orientador:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Orientador); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Orientador).

## GENERAL ABSTRACT

SILVA, Layrton Ferreira da. **Effect of forage species on susceptibility to soils compaction under cultivated pastures.** 2008. 68p. Dissertation (Master's degree in Plant Production in the Semi-arid) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, Brazil.<sup>1</sup>

The livestock production in Brazil is based mainly on pastures exploitation like the cheapest way of animals feeding. The pastures degradation, however, decreases productivity levels and rises production costs. Soil compaction is a great important factor in the degradation process, leading to lower roots and shoot development of plants, water infiltration reduction in the soil and showing areas of soil exposed with greater predisposition to erosion. The objective of this work was to make the physical characterization of soil under different forage species in the North of Minas Gerais State and evaluate the forage species effect on soil compaction susceptibility under cultivated pastures. For the soil physical characterization, based on the soil bulk density, there was a greater degree of soil compaction on the superficial layer (0-0,05 m) for all species. Most soil compaction was observed to *Cenchrus ciliaris*. The growth habit of grass also influenced, because the soil under *Andropogon gayanus* and *Panicum maximum* had similar behavior and soil under *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria brizantha* had better physical condition. For susceptibility to soil compaction, measured by the load support capacity, represented by the preconsolidation pressure, it was observed that in pastures established over 10 years ago, there is a greater susceptibility to soil compaction with increasing of its moisture, being influenced also by the growth habit of forage species and the presence of organic matter.

---

<sup>1</sup> **Guidance committee:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Advisor); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Advisor).

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As características climáticas predominantes no Brasil viabilizam a exploração de diversas atividades agroindustriais de forma competitiva, perante o mercado internacional. Dentre estas atividades, uma que merece destaque é a produção pecuária, que tem nas pastagens a base para sua sustentabilidade.

Porém, deve-se salientar que o processo de degradação das pastagens é fato notório, principalmente devido ao pouco ou nenhum esforço ser feito por parte dos criadores, para otimizar o uso das pastagens, sendo que estas, além de terem sua produtividade reduzida devido a problemas de estacionalidade de produção, passam pelo desconhecimento ou descaso com relação às perdas de capacidade de manutenção das condições produtivas do solo, como sua fertilidade e, principalmente, suas características físicas, normalmente, pouco consideradas quando da adoção de qualquer técnica de recuperação de pastagens degradadas.

Com níveis elevados da umidade do solo durante o pastejo, este sofre uma série de deformações muitas vezes irreversíveis, diminuindo a infiltração de água, desenvolvimento de raízes, ciclagem de nutrientes, dentre outros fatores intrínsecos, que acabam por afetar a produção e, conseqüentemente, a rentabilidade da atividade pecuária, sendo ela de corte ou de leite, mas, desde que apoiada em pastagens.

Outros fatores podem afetar diretamente o processo de degradação da pastagem, como a textura e granulometria do solo, a espécie forrageira utilizada, a intensidade e frequência do pastejo exercido pelos animais, a categoria animal, o resíduo pós-pastejo, a presença de pragas e doenças, dentre outros. Assim, espécies forrageiras com crescimento cespitoso tendem a possibilitar um maior nível de degradação do solo, devido ao seu hábito de crescimento, que favorece a formação de áreas de solo descoberto entre as touceiras do capim, onde ocorre



uma maior frequência de pisoteio pelos animais durante seu deslocamento dentro da área.

O entendimento do processo de compactação do solo pode ser melhor compreendido a partir da avaliação das curvas de compressão uniaxial do solo. Esta curva é representada graficamente pela relação entre algum parâmetro relacionado à estrutura do solo (razão de vazios ou densidade do solo) com o logaritmo da pressão aplicada, e permite estimar as alterações que podem ocorrer na estrutura do solo. A partir da curva de compressão uniaxial podem-se obter os parâmetros chamados índice de compressão ( $m$ ) e pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), os quais têm sido amplamente aceitos como indicadores da suscetibilidade do solo à compactação e de sua capacidade de suporte de carga respectivamente. Ambos os indicadores são influenciados pelas propriedades físico-mecânicas dos solos, sendo de grande influência a umidade, a textura, o teor de carbono orgânico e o estado de compactação inicial.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil apresenta características climáticas que favorecem a exploração de pastagens com elevado potencial de produção de biomassa. As áreas de pastagem no país compreendem aproximadamente 180 milhões de hectares, sendo que cerca de 20% da área do território nacional é ocupada por plantas forrageiras, onde, além da importância territorial, cerca de 90% do rebanho bovino têm sua exploração produtiva apoiada em pastagens (MARI, 2003).

As gramíneas forrageiras de clima tropical e subtropical constituem uma alternativa bastante viável na alimentação animal, em virtude do seu alto potencial de produção e baixo custo (OLIVEIRA, 2001). As plantas forrageiras, que na maioria das vezes são gramíneas, apresentam duas características principais: capacidade de recuperação após desfolhas pelos animais em pastejo e alto valor forrageiro. A capacidade de rebrota das gramíneas garante a produtividade e perenidade da cobertura vegetal, dois pontos de grande importância na utilização da pastagem.

Porém, segundo Kichel (2004), 80% das áreas de pastagens do cerrado brasileiro se encontram sob algum estágio de degradação, onde o fato é agravado pelo pouco interesse por parte dos produtores em proceder à recuperação destas áreas. A degradação das pastagens pode ser definida como a perda de vigor, produtividade e capacidade de recuperação natural insuficiente para sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais, assim como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão do manejo inadequado (KICHEL, 2004).

Conforme Leão *et al.* (2004), as condições físicas desfavoráveis do solo para o crescimento de plantas provocam perdas consideráveis na produção vegetal e, conseqüentemente, levam à perda da capacidade de suporte da

pastagem e à redução da produtividade animal, ocasionados pelo pisoteio dos animais.

A compactação do solo é um importante inibidor do desenvolvimento radicular e consequentemente da parte aérea das plantas. A compactação do solo determina as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam a germinação, a emergência e a brotação, além de alterar o crescimento radicular das plantas. A compactação do solo ocorre de maneira muito freqüente em propriedades agrícolas que utilizam máquinas e implementos ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso e/ou prolongado.

Os solos devem possuir espaço poroso suficiente para o movimento de água e gases e resistência favorável à penetração das raízes. Valores considerados normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g cm<sup>-3</sup>, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm<sup>-3</sup>. Valores de Ds associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g cm<sup>-3</sup> para solos arenosos e 1,45 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos (REINERT; REICHERT, 2006).

A compactação causada pelo pisoteio dos animais contribui para a redução da produtividade e longevidade das pastagens (KONDO, 1998; IMHOFF *et al.*, 2000; LIMA, 2004). Segundo Lima (2004), o termo compactação refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada no solo, sejam por máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais. O entendimento do processo de compactação é essencial para estimar as alterações que podem ocorrer na estrutura do solo, quando submetido a determinada pressão externa.

Segundo Costa; Nascimento Junior (2000), grande parte dos programas voltados à recuperação de pastagens degradadas, apresentados por pesquisadores

e técnicos da área, contempla apenas ações que visam à recuperação das propriedades químicas do solo, por meio de adubações e correções, no sentido de aumentar as produções vegetais, ficando os aspectos ligados à parte física do solo esquecidos ou colocados em segundo plano.

Os atributos físicos dos solos manejados sob intenso pisoteio animal se alteram, podendo interferir no crescimento e desenvolvimento das pastagens nativas ou implantadas. Os efeitos residuais desse manejo sobre os atributos do solo permanecem encobertos pela estratégia de uso adotada pelos produtores que, em limitados espaços, utilizam crescentes lotações, ampliando a carga animal por área, desconsiderando o estado atual, quer seja quanto à umidade do solo durante o pastoreio ou mesmo com relação ao estado de compactação existente (COLLARES, 2005).

A infiltração de água no solo em pastagens degradadas tem uma redução drástica, resultando no escoamento superficial da água e arrasto do solo pela erosão. O aumento da compactação do solo provoca o surgimento de áreas sem cobertura vegetal, com aumento substancial de camadas endurecidas, sendo, muitas vezes, necessária a intervenção humana para a adequada recuperação, podendo resultar até mesmo num processo acelerado de desertificação (PRIMAVESI, 1997; LIMA, 2004).

As modificações de importância agronômica que ocorrem em solos com excesso de compactação, dizem respeito aos seguintes fatores: aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes. Num determinado tempo e local, um desses fatores pode tornar restrito o desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta, (MORAES, 1984; CAMARGO; ALLEONI, 1997; LEÃO *et al.*, 2004; BRANDT *et al.*, 2006).

O processo de compactação dos solos pode ser melhor compreendido a partir da avaliação das curvas de compressão uniaxial do solo. Estas curvas são representadas graficamente pela relação entre algum parâmetro relacionado à estrutura do solo (razão de vazios ou densidade do solo) com o logaritmo da pressão aplicada, e permite estimar as alterações que podem ocorrer na estrutura do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; KONDO, 1998). A partir da curva de compressão uniaxial, podem-se obter os parâmetros chamados índice de compressão ( $m$ ) e pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), os quais têm sido amplamente aceitos como indicadores da suscetibilidade do solo à compactação e de sua capacidade de suporte de carga respectivamente. Ambos os indicadores são influenciados pelas propriedades físico-mecânicas dos solos, sendo a umidade, a textura, o teor de carbono orgânico e o estado de compactação inicial as de maior influência (KONDO, 1998; IMHOFF *et al.*, 2000).

Segundo Dias Junior; Pierce (1996), a curva de compressão do solo tem sido usada como base comum para modelar a suscetibilidade à compactação. Quando o solo não sofre nenhuma pressão prévia, sua curva de compressão é linear; entretanto, quando já experimentou pressões prévias ou ciclos de secagem e umedecimento, a variação das pressões atuando sobre ele determinará a formação de duas regiões distintas na curva de compressão: a curva de compressão secundária e a reta de compressão virgem.

A curva de compressão secundária representa os níveis de pressões experimentadas pelo solo no passado, enquanto a reta de compressão virgem representa as primeiras pressões aplicadas ao solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996). É na região da curva de compressão secundária, porém, que o solo deve ser cultivado ou trafegado sem que ocorra compactação adicional. É esse componente da curva de compressão que reflete a história de tensão do solo e que muitas vezes é negligenciado na modelagem da sua compactação do solo.

A pressão de preconsolidação é uma estimativa da resistência do solo na qual a alongação de raízes cessa, ou seja, solos com valores elevados de pressão de preconsolidação apresentam maior probabilidade de reduzir o crescimento das raízes (LIMA, 2004). Segundo Taylor *et al.* (1966) citado por Lima (2004), considera-se que limitações ao crescimento radicular ocorrem normalmente a valores de resistência do solo à penetração superiores a 2 MPa, embora não haja referências à umidade do solo.

O estabelecimento de uma estimativa da capacidade de suporte de carga a valores de resistência à penetração considerada não impeditiva ao crescimento de raízes poderá evitar a degradação da qualidade estrutural de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. A pressão de preconsolidação determina o valor da tensão limite entre as deformações recuperáveis (plásticas) e irre recuperáveis ou permanentes (elásticas). Através desses parâmetros podemos determinar a carga máxima capaz de ser suportada pelo solo sem que a estrutura sofra danos irreversíveis (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; KONDO; DIAS JUNIOR, 1999; IMHOFF *et al.*, 2001; SECCO, 2003). A umidade e intensidade de pisoteio pelos animais, além das características texturais do solo e o tipo de gramínea de formação da área de pastagem têm sido relatados como os principais fatores que afetam as condições de compactação de solos (IMHOFF *et al.*, 2000; COSTA; NASCIMENTO JUNIOR, 2000).

O teor da água no solo é o principal fator que afeta o crescimento das raízes das plantas, afetando a relação entre a resistência do solo à penetração e o alongamento da raiz. Kondo; Dias Junior (1999), ao realizarem estudo dos parâmetros de compressibilidade em três Latossolos na região de Lavras-MG, concluíram que com o incremento do teor de água ocorreu redução na capacidade suporte destes, independentemente do tipo de manejo a que haviam sido submetidos. Os mesmos autores afirmam que o teor de água do solo foi o fator principal e regulador do comportamento compressivo desses solos e que a

densidade inicial alterou as curvas de compressão. Nesse trabalho os autores avaliaram também a pressão de preconsolidação em Latossolo sob diferentes teores de umidade nas condições de cultura anual, mata e pastagem. As curvas de compressão uniaxial refletiram o efeito do manejo e da umidade na capacidade de suporte de carga do solo; sugerindo que a pressão de preconsolidação seja considerada como um indicador quantitativo da sustentabilidade estrutural (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996).

A facilidade com que o solo não saturado decresce de volume quando sujeito à pressão é chamada compressibilidade, a qual é função de fatores externos e internos. Para uma mesma condição de uso, o fator que governa a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo é a umidade. Assim, quando os solos estão mais secos, a sua capacidade de suporte de carga pode ser suficiente para suportar as pressões aplicadas e a sua compactação pode não ser significativa. Entretanto, qualquer compactação excessiva é prejudicial às plantas sob condições de alta umidade, o que pode causar redução na produção (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996).

Na compactação do solo ocorre um processo de densificação em que a porosidade e a permeabilidade são reduzidas, a resistência é aumentada e várias alterações são induzidas na estrutura do solo (SOANE; OUWERKERK, 1994). Pode também ser conceituada como um processo em que há redução da porosidade por forças compressivas aplicadas ao solo. A compactação altera as propriedades físicas do solo, geralmente com aumento da densidade, redução na porosidade total e na aeração (CARTER, 1988). Essa compactação altera várias propriedades do solo, notadamente aquelas relacionadas à física do solo, como a densidade do solo, a porosidade e os parâmetros hídricos, provocando alterações indesejáveis no espaço poroso do solo.

Conforme Leão *et al.* (2004), a principal consequência do excessivo pisoteio animal é a compactação do solo, caracterizada pelo aumento da

densidade do solo como resultado de cargas ou pressões aplicadas. Desse modo, a maioria dos estudos que avalia os efeitos do pisoteio animal sobre a qualidade física do solo sob pastagem se baseia na quantificação da densidade e outras propriedades físicas do solo afetadas pela compactação, tais como: a resistência à penetração, características de retenção de água e infiltração.

O hábito de crescimento das pastagens pode contribuir para uma maior compactação causada pelo pisoteio, ou não, uma vez que espécies que apresentam hábito de crescimento cespitoso (ereto) possibilitam a formação de áreas de solo descoberto entre as touceiras, aumentando o pisoteio nestas regiões, uma vez que em áreas formadas com espécies de hábito de crescimento prostrado, tal fato é amenizado pela ocupação dos colmos da planta que crescem junto ao solo.

Segundo Leão *et al.* (2004), as diferenças no hábito de crescimento das espécies presentes em sistemas de pastejo contínuo e rotacionado podem influenciar os resultados de pesquisa. As espécies *Panicum maximum* e *Andropogon gayannus* apresentam hábito de crescimento cespitoso, contribuindo para que o solo fique descoberto entre as touceiras e para que os animais somente transitem nessas áreas, intensificando a compactação causada pelo pisoteio. Assim, o resíduo forrageiro pós-pastejo e a carga animal aplicada à pastagem exercem influência no nível de degradação física do solo, já que o maior número de animais em pastejo numa determinada área provoca uma maior compactação do solo, principalmente quando a quantidade de resíduo é pequena, expondo ainda mais o solo à pressão imposta pelo casco dos animais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRANDT, A. A.; REICHERT, J. M.; BERVALD, C. M. P.; REINERT, D. J. **Pressão de preconsolidação e índice de compressão de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico sob diferentes preparos**. Disponível em:  
<[http://www.ufsm.br/ppgcs/congressos/XVRBMCSA\\_SM/Andr%E9%20Anibal%20Brandt.pdf](http://www.ufsm.br/ppgcs/congressos/XVRBMCSA_SM/Andr%E9%20Anibal%20Brandt.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2006.
- CAMARGO, O. A. e ALLEONI, L. R. F. **Compactação do Solo e o Desenvolvimento das Plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CARTER, M.R. **Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine sandy loam**. *Can. J. Soil Sci.*, v. 70, p. 425-33, 1988.
- COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <[http://www.ufra.edu.br/professores/antonio\\_ica/apresentacoes/trabalho18.pdf](http://www.ufra.edu.br/professores/antonio_ica/apresentacoes/trabalho18.pdf)> Acesso em: 27 out. 2007.
- COSTA, V.C. e NASCIMENTO JUNIOR, D. **Impacto Animal Sobre o Componente Abiótico: Ciclagem de Nutrientes e Compactação**: Viçosa:UFV, 2000. Disponível em:  
<<http://www.forragicultura.com.br/arquivos/IMPACTOANIMALCOMPONENTEABIOTICO.pdf>>. Acesso em 01 julho 2006.
- DIAS JUNIOR, M. de S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n. 2, p. 175–182, maio/ ago. 1996.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistência no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p.1493–1500, jul. 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2000000700025&Ing=pt&nrm=isso&tIng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2000000700025&Ing=pt&nrm=isso&tIng=pt)>. Acesso em: 28 jan. 2007.

IMHOFF, S., SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S.; TORMENA, C. A.  
Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p. 11–18, jan. 2001.

KICHEL, A. N. A recuperação da Pastagem Degradada. In: Curso de Pós Graduação em Manejo da Pastagem, 2004, Uberaba. **Manejo da Pastagem**. Uberaba:FAZU, 2004. p.7–95.

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

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

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p. 415-423, 2004.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24052004-160909/publico/claudia.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

MARI, L. J. **Intervalo entre cortes em capim Marandu (Brachiaria brizantha Staf cv. Marandu): Produção, valor nutritivo e perdas associadas à fermentação da silagem**. 2003. 159 p. (Dissertação em Ciência Animal e Pastagens) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde.20102003-16424/ESALQ>>.

MORAES, W. V. **Comportamento de características e propriedades físicas de um latossolo vermelho escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivo.** 1984. 107f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1984.

OLIVEIRA, F. N. Mercado e Estratégias de Comercialização da Carne Bovina: Alianças Mercadológicas e Integração da Cadeia Produtiva. In: **Simcorte, II**, 2001, Viçosa: Suprema, 2001. p. 19–32.

PRIMAVESI, A. **Agroecologia: ecosfera, tecnosfera e agricultura.** São Paulo: Nobel, 1997. 199 p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo.** Santa Maria: Centro de Ciências Rurais da UFSM, 2006. 18 f. Apostila. Disponível em: <[http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/fundamentos\\_da\\_ciencia\\_solo/propriedades\\_fisicas\\_do\\_solo\\_i\\_semestre\\_2006.pdf](http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/fundamentos_da_ciencia_solo/propriedades_fisicas_do_solo_i_semestre_2006.pdf)>. Acesso em 29 de outubro de 2007.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois Latossolos sob plantio direto.** 2003. 128f. Tese (Doutorado em Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/teses/Secco%20tese%20Dr.pdf>>- UFSM>. Acesso em 29 de outubro de 2007.

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

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, n.1, p.18-22, 1966.

## **CAPÍTULO I**

### **ATRIBUTOS FÍSICOS DE SOLOS SOB PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS**



## RESUMO

SILVA, Layrton Ferreira da. **Atributos físicos de solos sob pastagens cultivadas no Norte de Minas Gerais**. 2008. Cap. 1. p. 13-31. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-Árido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

As alterações que ocorrem nas propriedades físicas e químicas dos solos sob pastagem, decorrentes da utilização de elevadas pressões de pastejo, durante longos períodos de tempo, contribuem de forma significativa para acelerar os processos de degradação das pastagens. O objetivo deste trabalho foi caracterizar fisicamente o solo sob pastagens cultivadas com as espécies forrageiras: *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e *Cenchrus ciliaris* L., no Norte de Minas Gerais, identificando as relações existentes entre os diversos fatores envolvidos no processo de compactação. Em cada espécie forrageira, coletaram-se amostras de solo em quatro pontos, nas profundidades de 0–0,05; 0,10–0,15 e 0,25–0,30 m. As amostras foram submetidas à análise de densidade de partículas (Dp), análise granulométrica, densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) calculado. Todas as áreas estudadas apresentaram compactação excessiva, principalmente na camada superficial. O pisoteio animal foi o principal fator contribuinte à compactação do solo nas espécies cespitosas *P. maximum*, e *A. gayanus*. O sistema radicular fasciculado das espécies estoloníferas *B. decumbens* e *B. brizantha* promoveu a melhoria da estrutura física do solo, reduzindo os valores de Ds. Maiores conteúdos de areia elevaram a Ds para a mesma condição de uso. O VTP demonstrou a semelhança no comportamento do solo para as espécies *A. gayanus* e *P. maximum* condicionado pelo hábito de crescimento destes capins. De uma forma geral os dados de VTP acompanharam os valores de Ds uma vez que não foram observadas variações na Dp.

---

<sup>1</sup> **Comitê Orientador:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Orientador); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Orientador).

## ABSTRACT

SILVA, Layrton Ferreira da. **Physical attributes of soils under pastures cultivated in the North of Minas Gerais State.** 2008. Cap. 1. p. 13-31. Dissertation (Master's degree in Plant Production) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, Brazil.<sup>1</sup>

The changes that occur in the physical and chemical properties of soils under pasture, from the use of high grazing pressure, over long periods of time, contribute significantly to accelerate the processes of pastures degradation. The objective of this work was physically characterize the soil under pastures cultivated with the forage species: *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzania and *Cenchrus ciliaris* L., in the North of Minas Gerais State, Brazil, identifying the relationships between the various factors involved in the soil compaction process. Soil samples are collected at four points in each forage species, at depths of 0-0,05, 0,10-0,15 and 0,25-0,30 m. The soil samples were submitted to the analysis of particle density (Dp), soil texture, soil bulk density (Ds) and total porosity (VTP) calculated. All the evaluated areas showed excessive compaction, particularly in the superficial layer. The animal traffic was the main factor to cause soil compaction in erect growth species *P. maximum*, and *A. gayanus*. The fibrous root system of stoloniferous species *B. decumbens* and *B. brizantha* promoted the improvement of soil structure, reducing the Ds values. Major sand contents rose to Ds for the same use. The VTP showed the similarity in soil behavior for *A. gayanus* and *P. maximum* conditioned by the growth habit of these grasses. In general, the VTP data followed the Ds values, since were not observed Dp variations.

---

<sup>1</sup> **Guidance committee:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Advisor); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Advisor).

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento adequado das plantas e a produção de grãos, fibras e outros produtos comerciais são dependentes da harmonia entre diversos fatores ambientais. A absorção de nutrientes é um dos fatores importantes para que se tenham boas produções, e pode-se dizer que qualquer obstáculo que restrinja o crescimento radicular reduz tal absorção.

A compactação do solo é um importante inibidor do desenvolvimento radicular, determinando as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam a germinação, a brotação e a emergência das plantas, além do crescimento radicular em praticamente todas as fases de seu desenvolvimento. A compactação ocorre de maneira muito freqüente em propriedades agrícolas com uso inadequado de máquinas e implementos ou em áreas onde o pisoteio de animais é intenso.

As modificações de importância agronômica que ocorrem em solos compactados dizem respeito aos seguintes fatores: aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor e da disponibilidade de água e nutrientes. Num determinado tempo e local, um desses fatores pode tornar restrito o desenvolvimento das plantas, a depender do tipo de solo, da condição climática, da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta (MORAES, 1984; CAMARGO; ALLEONI, 1997; LEÃO *et al.*, 2004; BRANDT, 2004).

As propriedades físicas do solo são modificadas de acordo com o tipo de uso e cultivo ao qual este é submetido. Algumas propriedades se modificam em um período curto de tempo, enquanto outras apenas com manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis, além disso, os solos devem possuir suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases e resistência favorável à penetração das raízes, dessa forma, a compactação causada pelo pisoteio dos animais



contribui para a redução da produtividade e da longevidade das pastagens (KONDO, 1998; IMHOFF *et al.*, 2000; LIMA, 2004).

A densidade do solo é a relação entre a massa de sólidos deste e o seu volume e pode ser usada como medida direta do estado de compactação do solo. É afetada por sistemas de manejo do solo que alteram o espaço poroso, principalmente os macroporos, influenciando nas propriedades físico-hídricas importantes como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração. A densidade do solo é de grande importância para estudos agrônômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997; SECCO, 2003).

A textura apresenta grande importância no processo de compactação do solo (LIMA, 2004), uma vez que a fração areia pode se arranjar com muita facilidade. Quando uma determinada pressão externa é aplicada ao solo, o incremento da pressão, exercida por máquinas, equipamentos de transporte ou animais, faz com que ocorra um novo acomodamento e/ou arranjo das partículas, diminuindo o espaço aéreo do solo, incrementando a densidade e a resistência à penetração e, decorrente disso, aumentando a compactação.

Camargo; Alleoni (1997) citam que, embora se considere que os solos de textura arenosa apresentam alguma resistência à compactação, deve-se atentar para o fato de que eles são suscetíveis a três mecanismos que ocorrem, frequentemente, em condições de campo: a compactação superficial, a formação de “pães” (camadas horizontais endurecidas) devido ao tráfego e/ou cultivo inadequado com máquinas e implementos, e a impermeabilização superficial. A aplicação de uma força externa em solos arenosos pode rearranjar as partículas mais finas.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi caracterizar fisicamente o solo sob pastagens cultivadas com cinco espécies forrageiras no Norte de Minas Gerais, identificando as relações existentes entre os diversos fatores envolvidos no processo de compactação, com o hábito de crescimento da forrageira e, determinar a relação entre os tipos de sistema radicular das gramíneas forrageiras e o estado de compactação do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Tratamentos e amostragem

O estudo constou de um esquema fatorial 5x3 sendo cinco espécies forrageiras e três camadas, distribuídas em blocos casualizados com 4 repetições.

As espécies forrageiras foram *Andropogon gayanus* Kunth e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia de crescimento cespitoso, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf e *B. decumbens* Stapf de crescimento prostrado e *Cenchrus ciliaris* L. de crescimento semi-prostrado, cultivadas em Latossolos nos municípios de São João da Ponte, Capitão Enéas e Francisco Sá, todos na região Norte de Minas Gerais, implantadas há, no mínimo, 10 anos (tempo necessário para a estabilização estrutural do solo) e manejadas com o mesmo sistema de pastejo para a criação de gado de corte.

As camadas de solo amostradas foram de 0–0,05; 0,10–0,15 e 0,25–0,30 m de profundidade em cada espécie forrageira. Coletaram-se amostras deformadas e indeformadas em quatro pontos escolhidos aleatoriamente no campo, buscando-se assim a maior representatividade possível de cada área.

A Tabela 1 contém a caracterização dos locais de coleta de cada espécie forrageira.

**TABELA 1.** Caracterização dos locais de coleta dos solos cultivados sob as espécies forrageiras.

Espécie	Localização	Coordenada (UTM)	Solo	Hábito de crescimento
<i>A. gayanus</i>	C. Enéas	23K E-630518 N-8192994	Latossolo Vermelho	Cespitoso
<i>P. maximum</i>	C. Enéas	23L E-640892 N-8236694	Latossolo Vermelho	Cespitoso
<i>C. ciliaris</i>	S.J. da Ponte	23K E-642960 N-8199590	Latossolo Vermelho- Amarelo	Semi- Prostrado
<i>B. brizantha</i>	C. Enéas	23K E-630980 N-8193150	Latossolo Vermelho	Prostrado
<i>B. decumbens</i>	Francisco Sá	23K E-640586 N-8157286	Latossolo Vermelho- Amarelo	Prostrado

## 2.2. Análises laboratoriais

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Montes Claros/Campus Janaúba para posterior análise. As amostras foram submetidas à análise de densidade de partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico, análise granulométrica, densidade do solo (Ds) pelo método do cilindro volumétrico.

O volume total de poros (VTP) foi obtido a partir da equação  $[VTP=1-(Ds/Dp)]$ , conforme Embrapa (1997).

## 2.3. Análise Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SISVAR (Versão 5.0 –BUILD 67–DEX–UFLA) e os parâmetros qualitativos comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, onde foi analisada a interação entre os fatores espécie forrageira e profundidade da camada de solo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da densidade de partículas do solo nas diversas espécies são apresentados abaixo (Tabela 2):

**TABELA 2.** Médias dos valores de densidade de partículas (Dp) dos solos cultivados sob as espécies forrageiras em três profundidades (metros).

Espécies*	Dp		
	Mg m <sup>-3</sup>		
	0–0,05	0,10–0,15	0,25–0,30
<i>A. gayanus</i>	2,53 Aa	2,52 Aa	2,62 Aa
<i>P. maximum</i>	2,55 ABa	2,39 Ba	2,66 Aa
<i>C. ciliaris</i>	2,58 Aa	2,57 Aa	2,57 Aa
<i>B. decumbens</i>	2,44 Ba	2,52 Ba	2,65 Aa
<i>B. brizantha</i>	2,56 Aa	2,56 Aa	2,62 Aa

\* Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 2 para os valores de Dp que houve diferença estatística somente entre as profundidades para *P. maximum* e *B. decumbens*, demonstrando a adequabilidade das áreas estudadas em função da uniformidade do material de origem e classe de solo.

No solo cultivado com a espécie *P. maximum*, a profundidade de 0,10 a 0,15 m foi diferente das demais e semelhante a 0 a 0,05, enquanto que no solo cultivado com a espécie *B. decumbens* à medida em que se aprofundou no solo houve aumento da Dp, apresentando comportamento semelhante a *P. maximum*.

Em relação à granulometria (Tabela 3), para *A. gayanus*, *B. brizantha* e *B. decumbens*, não foram encontradas diferenças estatísticas entre os valores das frações areia, silte e argila, nas duas profundidades de coleta de cada área experimental, o que indica a uniformidade da textura em profundidade para os solos sob estas três espécies. Por outro lado, para *C. ciliaris*, observou-se que

para as frações areia e silte não houve diferença estatística entre as profundidades, mas com valores ligeiramente maiores na camada superior, enquanto o valor da fração argila diferiu estatisticamente entre as profundidades estudadas, apresentando um valor menor na superfície do solo em relação à subsuperfície, indicando a ocorrência de translocação da argila, por ocasião da falta de cobertura do solo. Para o *P. maximum*, houve o mesmo comportamento da fração argila, no entanto, a fração areia, que também apresentou diferença estatística para os valores de superfície e subsuperfície do solo, mostrou valores mais elevados em superfície, provavelmente pela eluviação da fração coloidal do solo.

**TABELA 3.** Médias dos valores da análise granulométrica dos solos cultivados sob as espécies forrageiras consideradas em três profundidades (metros).

Espécie*	Areia		Silte		Argila	
	0-0,05	0,25-0,30	0-0,05	0,25-0,30	0-0,05	0,25-0,30
	g kg <sup>-1</sup>					
<i>A. gayanus</i>	303 Ab	362 Ab	318 Abc	285 Aab	379 Aa	353 Aab
<i>P. maximum</i>	346 Ab	257 Bbc	276 Ab	241 Aab	377 Ba	502 Aa
<i>C. ciliaris</i>	761 Aa	683 Aa	132 Ad	119 Ab	106 Bb	198 Ab
<i>B. decumbens</i>	177 Ab	136 Ac	512 Aa	424 Aa	311 Aa	439 Aab
<i>B. brizantha</i>	312 Ab	210 Abc	228 Acd	246 Aab	459 Aa	544 Aa

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando-se as espécies e as profundidades, observa-se que em superfície, somente *C. ciliaris* diferiu estatisticamente das demais espécies, com o maior valor em relação aos demais da fração areia. Em subsuperfície, *C. ciliaris* também apresentou o maior valor da fração areia, diferindo das demais espécies, porém, *B. brizantha*, *A. gayanus* e *P. maximum* foram semelhantes entre si e diferentes dos valores de *B. decumbens*, que teve os valores de *B. brizantha* e *P. maximum* semelhantes entre si.

Para a fração argila, apenas a área sob *C. ciliaris* foi considerada diferente das demais espécies que tiveram seus valores considerados semelhantes entre si. Em subsuperfície, o maior valor da fração argila foi observado para o solo sob *B. brizantha*, tendo os valores em *P.maximum*, *B. decumbens* e *A. gayanus* considerados semelhantes entre si e o menor valor encontrado em *C. ciliaris*, com os valores de *A. gayanus* e *B. decumbens* considerados semelhantes entre si.

Observando-se a Tabela 4, verifica-se que o solo com maior conteúdo de areia possibilitou maiores valores de  $D_s$  e, conseqüentemente, menor valor de VTP, como observado para o solo sob *C. ciliaris*. Este fato não indica que maiores valores da fração argila impliquem em menor  $D_s$ , uma vez que o segundo maior valor encontrado para a fração argila na área sob *A. gayanus* apresentou também o segundo maior valor encontrado para  $D_s$ , ocasionado pelo seu hábito de crescimento formador de áreas sem cobertura vegetal entre as touceiras, o que gera maior exposição do solo à compactação.

Conforme Lima (2004), a textura apresenta grande importância no processo de compactação do solo, fato observado na Tabela 4, que apresenta os valores das médias da densidade do solo ( $D_s$ ) e volume total de poros (VTP). Estes parâmetros explicam de forma mais clara o processo de compactação do solo.

**TABELA 4.** Médias dos valores de densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) dos solos cultivados sob as espécies forrageiras consideradas em três profundidades (metros).

Espécie*	Ds			VTP		
	Mg m <sup>-3</sup>			m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup>		
	0–0,05	0,10–0,15	0,25–0,30	0–0,05	0,10–0,15	0,25–0,30
<i>A. gyanus</i>	1,49 Ab	1,37 Bb	1,36 Bb	0,41 Ba	0,45 ABba	0,48 Aa
<i>P. maximum</i>	1,44 Ab	1,41 Ab	1,36 Ab	0,43 Aba	0,40 Bcb	0,49 Aa
<i>C. ciliaris</i>	1,73 Aa	1,65 Aba	1,59 Ba	0,33 Ab	0,36 Ac	0,38 Ab
<i>B. decumbens</i> **	1,20 Ac	-	1,36 Ab	0,51 Ba	-	0,49 Ba
<i>B. brizantha</i>	1,37 Ab	1,29 Ab	1,31 Ab	0,46 Aa	0,49 Aa	0,49 Aa

\* Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\* Na área de *B. decumbens* foram coletadas amostras apenas nas profundidades onde foram coletadas amostras indeformadas para análises mecânicas não contempladas neste estudo.

Observa-se na Tabela 4 maior compactação no solo cultivado com a espécie *C. ciliaris*, tomando-se por base os valores de Ds, em todas as profundidades, em comparação com aqueles cultivados com as outras espécies forrageiras, devido a esta espécie ser cultivada em solo com maior conteúdo de areia que as demais conforme se observa na Tabela 4. Este resultado corrobora a afirmação de Camargo; Alleoni (1997), de que a aplicação de uma força externa em solos arenosos pode rearranjar as partículas mais finas, forçando-as a se assentarem nos vazios do solo, porém, não atingindo os valores críticos citados por esses autores, de 2,0 Mg m<sup>-3</sup>.

Os valores superiores de Ds apresentados neste trabalho indicam a existência de uma maior compactação, principalmente na superfície, resultado direto do excesso de carga aplicada sobre o solo, conforme observado por Lima (2004). Observa-se uma tendência de diminuição dos valores de Ds nos solos cultivados sob todas as espécies à medida que aumenta a profundidade.

As Ds observadas em *A. gyanus* e *P. maximum* não diferiram estatisticamente, possivelmente pela similaridade do hábito de crescimento



cespitoso dos capins. Bertol *et al.* (2000), trabalhando com diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem de capim elefante-anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mott e avaliando a densidade do solo e porosidade, dentre outros fatores, verificaram que a densidade do solo diminuiu com o aumento da oferta de forragem, correspondendo a uma diminuição da pressão de pastejo, podendo ser atribuído à menor pressão mecânica exercida sobre o solo.

Como observado nas áreas experimentais avaliadas para *A. gayanus* e *P. maximum*, a quantidade de material vegetal em decomposição (menor em *A. gayanus*) presente entre as touceiras dos capins que tem o mesmo hábito de crescimento mostrou resultado compatível ao avaliado por Bertol *et al.* (2000) para a Ds, e, também segundo Rosim (2007), maiores densidades de palha geram menores valores de resistência do solo à penetração, comprovando o efeito da palha na redução da compactação.

O maior valor de Ds observada para *C. ciliaris* ocorreu em virtude de um maior grau de degradação física desta pastagem, contrastando com os menores valores de Ds encontrado para *B. decumbens* e *B. brizantha*, que possuem o mesmo hábito de crescimento prostrado, com menores áreas de caminhamento dos animais.

O VTP demonstrou a semelhança no comportamento do solo para as espécies *A. gayanus* e *P. maximum* condicionado pelo hábito de crescimento destes capins. De uma forma geral, os dados de VTP acompanharam os valores de Ds uma vez que não foram observadas variações na Dp.

Segundo Giarola *et al.* (2007), para um Latossolo Vermelho sob mata nativa e sob cultivo de Tifton 85 (*Cynodon* spp.), os valores médios de Ds do horizonte superficial foram significativamente maiores na área sob forrageira em comparação com a área sob mata nativa, atingindo valores de até 1,60 Mg m<sup>-3</sup>. Estes resultados corroboram aqueles obtidos para *C. ciliaris*, onde houveram valores superiores aos encontrados por estes autores, provavelmente devido ao

estágio mais avançado de degradação da pastagem, porém, o mesmo comportamento de maiores valores de Ds foi observado para as demais forrageiras, mas com valores menores que os citados por Giarola *et al.* (2007).

Mediante as observações de campo no momento da coleta, as áreas das espécies com menor oferta de forragem, como no caso do *C. ciliaris* e *A. gayanus*, apresentaram maiores valores de Ds, visto que esse fato promove um aumento de áreas com solo descoberto, principalmente no caso do *A. gayanus*, que possui hábito de crescimento cespitoso (ereto), gerando mais áreas desprotegidas do pisoteio animal. Por outro lado, no caso do *C. ciliaris*, apesar do hábito semi-prostrado, este se mostrou com comportamento entouceirado, ocasionando a presença de áreas de solo descoberto como o observado para capins de crescimento cespitoso (*P. maximum* e *A. gayanus*).

Com a compactação do solo, ocorre redução na macroporosidade e relação macro/ microporosidade do solo inversamente proporcionais à redução da densidade do solo, ou seja, com o agravamento da degradação do solo a macroporosidade diminui a níveis muito baixo, podendo comprometer a respiração radicular.

Os valores médios de Ds, para todas as espécies, nas profundidades de 0-0,05; 0,10-0,15 e 0,25-0,30 m, foram de 1,45; 1,43 e 1,39 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente, seguindo uma tendência inversamente proporcional, em relação ao aumento em profundidade do solo, indicando que a camada de maior compactação é a que se encontrou entre 0,05 e 0,10 m, onde a redução da densidade do solo em profundidade relaciona-se, provavelmente, com a redução do conteúdo de matéria orgânica. Os valores indicados no presente trabalho ficaram acima da faixa de variação geral apontada para solos arenosos, mais densos do que os argilosos relatados entre 1,20 e 1,40 Mg m<sup>-3</sup> e próximos dos níveis críticos de densidade do solo indicados por Camargo; Alleoni (1997), situados em torno de 1,70 Mg m<sup>-3</sup> – como capazes de afetar o crescimento das

plantas, já que tais características impõem barreiras ao seu desenvolvimento adequado.

Em relação à porosidade total, por ser um valor inversamente proporcional ao de  $D_s$ , assim como nos resultados apresentados anteriormente por outros autores, neste trabalho foi observada a mesma relação, onde os maiores valores de  $D_s$  foram acompanhados pelos menores valores de VTP, observado claramente para o solo sob a espécie *C. ciliaris* que teve os maiores valores de  $D_s$  e menores de VTP, assim como para todas as espécies.

## 4 CONCLUSÃO

O pisoteio animal, em condições de umidade excessiva, foi o principal fator contribuinte à compactação do solo, principalmente nas espécies cespitosas *P. maximum*, e *A. gayanus* em função da presença de áreas descobertas entre as touceiras de capim.

O sistema radicular fasciculado das espécies estoloníferas *B. decumbens* e *B. brizantha* promoveu a melhoria da estrutura física, reduzindo os valores de densidade do solo.

Maiores conteúdos de areia elevaram a densidade do solo, para a mesma condição de uso.

O VTP demonstrou a semelhança no comportamento do solo para as espécies *A. gayanus* e *P. maximum* condicionado pelo hábito de crescimento destes capins.

De uma forma geral, os dados de VTP acompanharam os valores de  $D_s$  uma vez que não foram observadas variações na  $D_p$ .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BRANDT, A. A.; REICHERT, J. M.; BERVALD, C. M. P.; REINERT, D. J. Pressão de preconsolidação e índice de compressão de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico sob diferentes preparos. In: XV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2004, Santa Maria. **CD-ROM da XV RBMCSA**. Santa Maria: UFSM, 2004. v. 1. p. 1-4.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho Utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p. 863–873. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a04v31n5.pdf>>. Acesso em: 08 jan. 2008.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da 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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n7/1493.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

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

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 415-423, maio/jun. 2004.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24052004-160909/publico/claudia.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

MORAES, W. V. **Comportamento de características e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro, submetido a diferentes sistemas de cultivo**. 1984. 107 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1984.

ROSIM, C. R. **Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho Distroférrico**. 2007. 55 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Ambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/Daniel%20Rosim2007.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2007.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois Latossolos sob plantio direto**. 2003. 128 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/teses/Secco%20tese%20Dr.pdf>>- UFSM>. Acesso em: 29 out. 2008.

## **CAPÍTULO II**

### **PRESSÃO DE PRECONSOLIDAÇÃO E ÍNDICE DE COMPRESSÃO DO SOLO INFLUENCIADOS PELO TIPO DE ESPÉCIE FORRAGEIRA EM PASTAGENS CULTIVADAS NO NORTE DE MINAS GERAIS**





## RESUMO

SILVA, Layrton Ferreira da. **Pressão de preconsolidação e índice de compressão do solo influenciados pelo tipo de espécie forrageira em pastagens cultivadas no Norte de Minas Gerais**. 2008. Cap. 2. p. 33-67. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semi-Árido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.<sup>1</sup>

O pisoteio animal em pastagens promove modificações nos atributos físicos do solo, interferindo na capacidade de retenção de água, aeração e desenvolvimento de raízes das plantas. Espécies forrageiras com hábito de crescimento cespitoso formam mais áreas de solo descoberto que espécies de crescimento prostrado. O objetivo deste trabalho foi estudar o processo de compactação do solo sob diferentes espécies forrageiras para a otimização do sistema de produção a pasto no Norte de Minas Gerais. Os tratamentos constaram de cinco espécies forrageiras, *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e *Cenchrus ciliaris* L., cultivadas em Latossolos implantadas há no mínimo 10 anos. Em cada espécie forrageira, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas em quatro pontos escolhidos aleatoriamente no campo, nas profundidades de 0–0,05 e 0,25–0,30 m. As amostras foram submetidas ao controle de umidade por mesa de tensão e pesagem, onde após se obter a umidade desejada estas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial, obtendo-se os modelos de sustentabilidade estrutural como uma função da pressão de preconsolidação versus umidade. As cargas foram aplicadas em cada amostra obedecendo à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa; cada carga foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada e, somente então, uma nova carga era aplicada. Após o término do ensaio, as amostras foram levadas à estufa a 105 – 110 °C até massa constante, para determinação da umidade gravimétrica. Variações nos atributos físicos e mecânicos do solo, induzidas pela espécie forrageira e manejo, alteraram o seu comportamento compressivo. O aumento da umidade gravimétrica do solo provocou uma redução exponencial da capacidade de suporte de carga do solo e elevou linearmente sua suscetibilidade à compactação. As espécies de hábito de crescimento cespitoso, como o *A. gayanus* e *P. maximum*, apresentaram maior compactação, respectivamente em superfície e em sub-superfície. A compactação do solo foi mais intensa na espécie *C. ciliaris*, principalmente em superfície. A redução da umidade do solo

---

<sup>1</sup> **Comitê Orientador:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Orientador); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Orientador).

tornou a capacidade de suporte carga em subsuperfície mais elevada do que em superfície para *B. decumbens* e *B. brizantha* que possuem hábito de crescimento prostrado.

## ABSTRACT

SILVA, Layrton Ferreira da. **Preconsolidation pressure and soil compression index influenced by the type of forage species in pastures cultivated in the North of Minas Gerais.** 2008. Chapter 2. p. 33-67. Dissertation (Master's degree in Plant Production) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, Brazil.<sup>1</sup>

The animal trampling on pastures provides changes in soil physical attributes, interfering in the soil water retention, in its aeration and roots development of the plants. Forage species with erect growth habit make more discovered areas of soil than species of prostrate growth habit. The objective of this work was study the soil compaction process under different forage species to optimization of pasture production system in the North of Minas Gerais State. Treatments consisted of five forage species, *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzania and *Cenchrus ciliaris* L., cultivated at least 10 years in Latosols. In each forage specie, disturbed and undisturbed soil samples was collected in four points, randomly chosen, at depths of 0-0,05 and 0,25-0,30 m. The samples were submitted to moisture control by tension table and weighing, where after the desired moisture they were submitted to the uniaxial compression test, resulting in the models of structural sustainability models as a function preconsolidation pressure versus soil moisture. The loads were applied in each sample according to the following order: 25, 50, 100, 200, 400, 800 and 1600 kPa, each load was applied until 90% of the maximum deformation was reached, and only then, a new load was applied. After the test, the samples were taken to the oven at 105 and 110 °C to constant weight, to determine the soil moisture. Variations in mechanical and physical soil attributes, induced by forage species and management, changed its compressive behaviour. The increase in soil moisture caused an exponential reduction of load support capacity of soil and increased linearly their susceptibility to compaction. The species of erect growth habit, such as *A. gayanus* and *P. maximum*, showed a higher compression, respectively on superficial and sub-superficial layers. Soil compaction was more intense in *C. ciliaris*, mainly on surface. The reduction of soil moisture made the load support capacity in sub-superficial higher than in superficial layer to *B. decumbens* and *B. brizantha* that have prostrate growth habit.

---

<sup>1</sup> **Guidance committee:** Luiz Henrique de Souza – UNIMONTES (Advisor); Marcos Koiti Kondo – UNIMONTES (Co-Advisor).



## 1 INTRODUÇÃO

As propriedades físicas do solo são modificadas de acordo com o tipo de uso e cultivo ao qual este é submetido: algumas propriedades se modificam em um período curto de tempo, enquanto outras apenas com manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis.

Os solos devem possuir suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases e resistência favorável à penetração das raízes, além da ação dos microorganismos responsáveis pela ciclagem de nutrientes e degradação de compostos químicos. A compactação causada pelo pisoteio dos animais contribui para a redução da produtividade e longevidade das pastagens (KONDO, 1998; IMHOFF *et al.*, 2000; LIMA, 2004).

Segundo Lima (2004), o termo compactação refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada no solo, sejam por máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais. O entendimento do processo de compressão é essencial para estimar as alterações que podem ocorrer na estrutura do solo, quando submetido a determinada pressão externa.

A compactação das camadas superficiais e subsuperficiais do solo interferem profundamente no potencial produtivo do mesmo por meio da formação de barreiras físicas, que dificultam o desenvolvimento de raízes, infiltração de água, processos microbiológicos do solo entre outros fatores (KONDO, 1998; IMHOFF *et al.* 2000; BEUTLER; CENTURION, 2003).

A curva de compressão do solo representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e algum parâmetro relacionado com o estado de empacotamento do solo, mais frequentemente a  $D_s$  e/ou o índice de vazios (CASAGRANDE, 1936; LEONARDS, 1962; HOLTZ; KOVACS, 1981; SMITH *et al.* 1997; KONDO, 1998).

Conforme Dias Junior; Pierce (1996), a pressão de preconsolidação (que pode ser entendida como sendo a maior pressão que o solo já suportou no passado, o que, em termos de agricultura, reflete o tipo de manejo utilizado) tem sido usada para indicar o ponto de separação entre ambos os casos. Assim, a pressão de preconsolidação divide a curva de compressão do solo em duas regiões: (a) uma de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária), e (b) uma de deformações plásticas e não recuperáveis (reta de compressão virgem).

A curva de compressão do solo é um parâmetro que auxilia na análise do processo de compactação. Essa curva relaciona o índice de vazios com o logaritmo da pressão aplicada no solo, de onde se obtém a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), a qual é uma estimativa da capacidade do solo suportar uma determinada carga (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996), e o índice de compressão ( $m$ ), o qual é um indicativo da suscetibilidade do solo à compactação (LARSON *et al.*, 1980). A maioria dos trabalhos publicados que relatam este tipo de problema levam em consideração apenas os fatores zootécnicos como a taxa de lotação imposta à pastagem, fatores da planta como alterações morfológicas e fatores do solo relacionados aos seus aspectos químicos, sendo dada pouca importância às condições físicas do solo.

A resistência do solo à penetração é devida a dois fatores: a) “compressão” das partículas primárias e b) fricção entre partículas primárias e agregados durante o movimento relativo da raiz, ou melhor, a resistência à penetração é resultante de forças oriundas da compactação, que é definida pela densidade aparente, pelo conteúdo de água e textura do solo. Em geral, a resistência mecânica do solo à penetração aumenta proporcionalmente com o aumento da densidade e decresce com o conteúdo de água, (SECCO, 2003).

Lima *et al.* (2004), trabalhando em um Argissolo Vermelho, encontraram variações da densidade do solo com ampla variabilidade espacial

do estado de compactação ocasionada por diferenças de umidade em dois sistemas de pastejo, sendo um pastejo rotacionado intensivo irrigado e outro não irrigado. Segundo os autores, o intervalo de variação da pressão de preconsolidação nas duas áreas analisadas foi semelhante aos valores da pressão exercida por animais da raça bovina. Foi constatado que a umidade do solo, no momento do pisoteio, mais elevada no sistema com irrigação, pode ter contribuído para o aumento significativo da compactação inicial quando comparado ao sistema de pastejo rotacionado intensivo não irrigado.

Conforme Lima *et al.* (2004), a compressibilidade do solo, que indica a sua resistência ao decréscimo de volume quando submetido a uma dada pressão, é determinada não só pelas características do solo como a textura e a umidade, mas também pela intensidade, frequência e tipo de sistema de pastejo adotado. Segundo esses autores há indicações de que os animais podem exercer pressões no solo da ordem de 350 a 400 kPa e que a pressão exercida pelos animais em movimento pode ser o dobro da exercida quando eles estão parados. Consoante Trimble; Mendel (1995), a força aplicada pelos cascos dos animais é normalmente subestimada por ser concebida como estática; no entanto, ao se movimentar, o animal transfere a massa do corpo para uma ou duas de suas patas, além do efeito agravante da aceleração desenvolvida no movimento.

Bono *et al.* (2000), em estudo realizado em Campo Grande – MS em um Latossolo Vermelho de textura argilosa, avaliou o desempenho de três cultivares de *Panicum maximum* (Tanzânia, Mombaça e Massai) quanto à biomassa do sistema radicular e resistência do solo à penetração sob pastejo rotacionado e verificaram que a cultivar Massai, quando adubada com 50 kg de N, obteve área do sistema radicular superior ao Mombaça e ao Tanzânia, porém, igual ao Tanzânia, quando este foi adubado com 100 kg de N. O cultivar Mombaça seguido do Massai, apresentou o solo mais compactado, entretanto, dos atributos avaliados, observou-se que o cultivar Massai possui raízes mais finas, sendo,

portanto, menos sensível à compactação do solo, mesmo com lotação superior as demais cultivares. Foi observado também que a adubação nitrogenada não aumentou significativamente a produção de biomassa radicular; no entanto, melhorou sua distribuição relativa no perfil do solo, levando as raízes a maiores profundidades.

Lima *et al.* (2007), trabalhando em Latossolo Vermelho distrófico típico franco-arenoso em Pereira Barreto (SP), com três profundidades (0 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0,20 – 0,30 m), em sistema de rotação plantio direto, definiram que a variabilidade do solo é produto da interação entre os fatores e os processos de sua formação. Segundo esses autores, considerando-se que o teor de matéria orgânica do solo seja decrescente em profundidade, assim como a compactação anteriormente exercida pelo gado bovino, os menores coeficientes de variação observados nas camadas seguintes atestam que o sistema plantio direto também pôde contribuir para o aumento da homogeneidade na subsuperfície (0,10 – 0,30 m) do solo trabalhado. Em relação à densidade do solo, esses autores encontraram, nas profundidades de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30; 1,47, 1,67 e 1,69 Mg m<sup>-3</sup> respectivamente, seguindo uma tendência linear positiva em relação ao aumento em profundidade do solo, indicando que a camada de maior compactação é a que se encontrou entre 0,20 e 0,30 m, provavelmente devido à redução no teor de matéria orgânica.

A maioria das regiões tradicionais em pecuária enfrenta, ano após ano, o problema da estacionalidade de produção de pastagens. Desta forma, visando à minimização deste efeito, que tem por característica a redução da produção de forragens por fatores climáticos, nutricionais e estratégicos, tem sido empregada recentemente em algumas propriedades a utilização da irrigação de pastagens.

O sistema de manejo empregado, em conjunto com a irrigação na condução da pastagem, se torna um importante aliado na busca da máxima produtividade. Com isto, são empregados sistemas de pastejo intensivo,



rotacionado, com lotação constante em pastejo contínuo e outros sistemas utilizados como o proposto pelo sistema de pastoreio rotacionado Voisin. A espécie forrageira associada ao sistema de pastejo com ou sem irrigação, é condição de suma importância na análise das variáveis envolvidas no processo de compactação do solo.

Algumas respostas devem ser perseguidas para balizar um adequado manejo, propiciando a implantação das culturas durante e também após a utilização da área com pecuária. Segundo Trein *et al.* (1991), o pisoteio bovino causa compactação do solo na camada superficial até 7,5 cm de profundidade. A compactação exercida pelos animais pode ocorrer devido à umidade inadequada do solo durante o período de pastejo, ao sistema contínuo de pastejo e à reduzida massa de forragem nas áreas. De acordo com Cohron (1971), os bovinos exercem, em média, uma pressão de 0,17 MPa por casco, podendo atingir um aprofundamento do casco no solo da ordem de 12 cm.

O aumento da lotação provoca uma correspondente diminuição no rendimento das pastagens e está relacionado diretamente com o tipo de solo, com a umidade do solo durante o pastoreio, com o tipo de pastagem presente, bem como com o estado de desenvolvimento em que se encontra. Em condições inadequadas, o pisoteio animal causa a compactação do solo, a qual promove o aumento da resistência mecânica à penetração, diminuindo e até impedindo o crescimento de raízes, reduzindo o fluxo de ar e alterando os processos ou fatores que regulam a disponibilidade de água no solo e, por conseguinte, de nutrientes às plantas (COLLARES, 2005).

O sistema de manejo, a espécie forrageira e sua disponibilidade na área, o tipo de solo e a umidade deste, interferem diretamente no nível de compactação do solo no momento do pastejo. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver estudos relacionados ao processo de compactação do solo sob

pastagens de diferentes espécies forrageiras buscando otimizar os sistemas de produção pecuária a pasto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Tratamentos e amostragem

Os tratamentos constaram de cinco espécies forrageiras: *Andropogon gayanus* Kunth, *Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e *Cenchrus ciliaris* L., cultivadas em Latossolos nos municípios de Janaúba, São João da Ponte, Capitão Enéas e Francisco Sá, todos na região Norte de Minas Gerais, implantadas, no mínimo, há 10 anos (tempo necessário para a estabilização estrutural do solo) e manejadas com o mesmo sistema de pastejo para a criação de gado de corte.

Em cada espécie forrageira, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas em quatro pontos escolhidos aleatoriamente no campo, nas profundidades de 0–0,05 e 0,25–0,30 m, buscando-se assim a maior representatividade possível de cada área, no total de 200 amostras indeformadas.

Da mesma forma, antecipadamente, coletaram-se amostras deformadas e indeformadas em três profundidades: 0 – 0,05; 0,10 – 0,15 e 0,25 a 0,30 m, em quatro pontos, para caracterização física, exceto para *B. decumbens*, na qual o solo restante do preparo das amostras para o ensaio de compressão uniaxial foi utilizado para essa caracterização. Os seguintes atributos foram analisados: densidade de partículas, granulometria, densidade do solo e volume total de poros obtido pela relação  $VTP=1-(Ds/Dp)$ .

A amostragem foi feita nos meses de outubro e novembro de 2007, com auxílio de um amostrador de Uhland, utilizando anéis de ferro e de alumínio de 2,54 cm de altura por 6,35 cm de diâmetro, para obtenção de amostras indeformadas. Após a coleta das amostras, estas foram cuidadosamente embaladas em filme plástico para preservação da estrutura e manutenção da umidade e, posteriormente, identificadas.

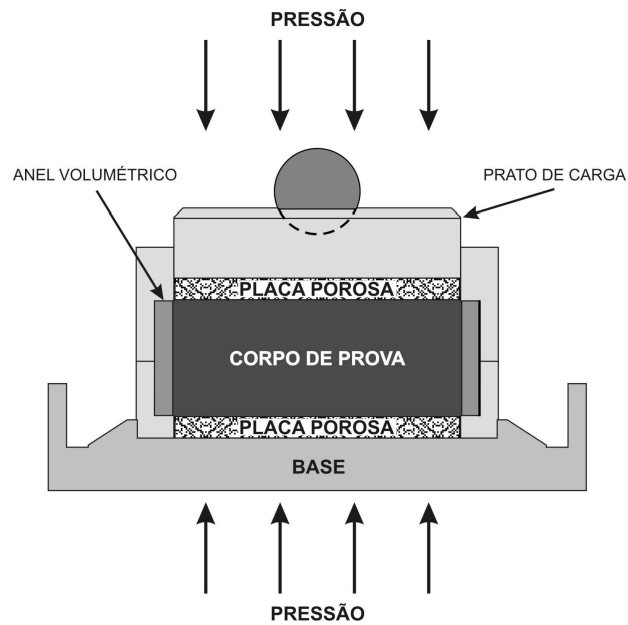
## 2.2. Análises laboratoriais

Em laboratório, retirou-se de cada amostra o filme plástico e moldou-se o corpo de prova conforme a altura do anel volumétrico, retirando-se o excesso de solo.

Em seguida, as amostras indeformadas foram submetidas ao controle de umidade, sendo saturadas e submetidas à sucção de 2 kPa na mesa de tensão, para obtenção das umidades acima da capacidade de campo, sem exposição direta ao sol, até atingirem a umidade desejada. A umidade a ser obtida foi calculada a partir da umidade atual da amostra no momento do preparo, considerando que a umidade atual do anel é a mesma da amostra no momento do preparo.

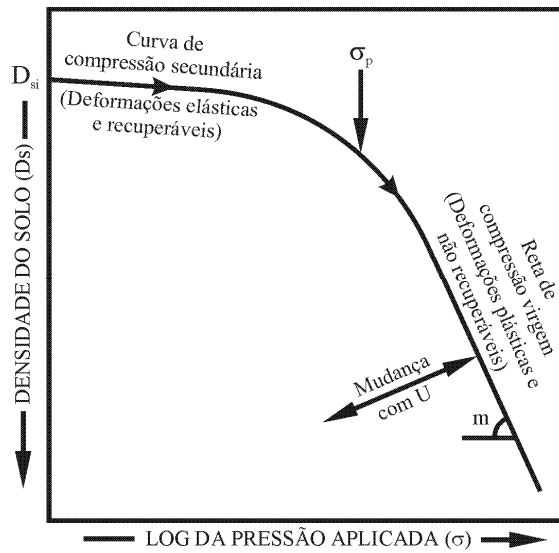
Após as amostras atingirem as diferentes umidades desejadas, foram submetidas ao ensaio de compressibilidade, obtendo-se os modelos de sustentabilidade estrutural como uma função da pressão de preconsolidação versus a umidade, para as condições do estudo.

As cargas foram aplicadas em cada amostra (corpo de prova), por meio de ar comprimido em uma célula de compressão (Figura 1), utilizando-se um Consolidômetro com IHM da empresa Masquetto Automações, as quais obedeceram à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa; cada pressão foi aplicada até que 90% da deformação máxima fosse alcançada (Holtz e Kovacs, 1981) e, somente então, uma nova pressão foi aplicada. Após o término do ensaio, as amostras foram levadas à estufa a 105 – 110 °C, até massa constante, para determinação da umidade gravimétrica, conforme Embrapa (1997).



**FIGURA 1.** Célula de compressão utilizada no ensaio de compressão uniaxial.

A Figura 2 apresenta um esquema de uma curva de compressão de um determinado solo conforme Dias Junior e Pierce (1996).



**FIGURA 2.** Exemplo de curva de compressão do solo.

A caracterização física dos solos estudados encontra-se nas Tabelas 1 a 3, conforme o capítulo 1..

**TABELA 1.** Médias dos valores de densidade de partículas (Dp) dos solos cultivados sob as espécies forrageiras em três profundidades (metros).

Espécies*	Dp		
	Mg m <sup>-3</sup>		
	0-0,05	0,10-0,15	0,25-0,30
<i>A. gayanus</i>	2,53 Aa	2,52 Aa	2,62 Aa
<i>P. maximum</i>	2,55 ABa	2,39 Ba	2,66 Aa
<i>C. ciliaris</i>	2,58 Aa	2,57 Aa	2,57 Aa
<i>B. decumbens</i>	2,44 Ba	2,52 Ba	2,65 Aa
<i>B. brizantha</i>	2,56 Aa	2,56 Aa	2,62 Aa

\* Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

**TABELA 2.** Médias dos valores da análise granulométrica dos solos cultivados sob as espécies forrageiras consideradas em três profundidades (metros).

Espécie*	Areia		Silte		Argila	
	0-0,05	0,25-0,30	0-0,05	0,25-0,30	0-0,05	0,25-0,30
	g kg <sup>-1</sup>					
<i>A. gayanus</i>	303 Ab	362 Ab	318 Abc	285 Aab	379 Aa	353 Aab
<i>P. maximum</i>	346 Ab	257 Bbc	276 Ab	241 Aab	377 Ba	502 Aa
<i>C. ciliaris</i>	761 Aa	683 Aa	132 Ad	119 Ab	106 Bb	198 Ab
<i>B. decumbens</i>	177 Ab	136 Ac	512 Aa	424 Aa	311 Aa	439 Aab
<i>B. brizantha</i>	312 Ab	210 Abc	228 Acd	246 Aab	459 Aa	544 Aa

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

**TABELA 3.** Médias dos valores de densidade do solo (Ds) e volume total de poros (VTP) dos solos cultivados sob as espécies forrageiras consideradas em três profundidades (metros).

Espécie*	Ds			VTP		
	Mg m <sup>-3</sup>			m <sup>-3</sup> m <sup>-3</sup>		
	0-0,05	0,10-0,15	0,25-0,30	0-0,05	0,10-0,15	0,25-0,30
<i>A. gayanus</i>	1,49 Ab	1,37 Bb	1,36 Bb	0,41 Aa	0,45 ABba	0,48 Ba
<i>P. maximum</i>	1,44 Ab	1,41 Ab	1,36 Ab	0,43 ABa	0,40 Acb	0,49 Ba
<i>C. ciliaris</i>	1,73 Aa	1,65 Aba	1,59 Ba	0,33 Ab	0,36 Ac	0,38 Ab
<i>B. decumbens</i> **	1,20 Ac	-	1,36 Ab	0,51 Ba	-	0,49 Ba
<i>B. brizantha</i>	1,37 Ab	1,29 Ab	1,31 Ab	0,46 Aa	0,49 Aa	0,49 Aa

\* Médias seguidas pelas mesmas letras, maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

\*\* Na área de *B. decumbens* foram coletadas amostras apenas nas profundidades onde foram coletadas amostras indeformadas para análises mecânicas, não contempladas neste estudo.

### 2.3. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 5X2, sendo 5 espécies forrageiras (*Brachiaria brizantha* Hochst Stapf, *B. decumbens* Stapf, *Andropogon gayanus* Kunth, *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e *Cenchrus ciliaris* L.) e 2 profundidades de coleta de solo (0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m) e 4 repetições, conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + P_j + e_{ijk}$$

em que:

Y = observação referente à espécie “i” na profundidade “j” submetida a repetição “k”;

$\mu$  = constante associada a todas as observações;

$E_i$  = efeito da espécie “i”, com i=1, 2, ..., 5;

$P_j$  = efeito da profundidade de coleta “j”, com j= 1 e 2;



$e_{ijk}$  = erro associado a todas as observações que por hipótese tem distribuição normal, média zero e variância  $s^2$ .

As análises estatísticas utilizaram as pressões de preconsolidação e os índices de compressão determinados a partir da curva de compressão do solo (DIAS JUNIOR, 1994), oriunda do ensaio de compressibilidade, as quais foram plotadas em função das umidades simuladas em laboratório. Foram obtidas as equações matemáticas que correspondem aos modelos de sustentabilidade estrutural com os respectivos intervalos de confiança e predição a 5% e 95%. O uso destes intervalos de confiança permitiu avaliar as pressões de preconsolidação obtidas de outras populações diferentes daquela usada na obtenção do modelo de sustentabilidade estrutural. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, quando significativa a diferença, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para as médias de tratamentos.

#### **2.4. Pressão de preconsolidação**

Para determinação da pressão de preconsolidação, seguiu-se o modelo determinado por Dias Junior (1994). Assim, os dados seguiram o seguinte modelo:

$$\sigma_p = 10^{(a + bU)}$$

em que:

$\sigma_p$  = pressão de preconsolidação (kPa),

$a$  = intercepto da regressão,

$b$  = inclinação da linha de regressão ajustada,

$U$  = umidade gravimétrica ( $\text{kg kg}^{-1}$ ).

## 2.5. Índice de compressão

Tomando-se por base a suscetibilidade do solo à compactação, pelo índice de compressão do solo ( $m$ ), o qual variou com a umidade, considerou-se, para este estudo, o valor de  $m$  como uma função da umidade, conforme a relação:

$$m = a + bU$$

em que:

$m$  = índice de compressão ( $\text{Mg m}^{-3}$ ),

$a$  e  $b$  = parâmetros ajustados,

$U$  = umidade gravimétrica do solo ( $\text{kg kg}^{-1}$ ), com o coeficiente de determinação variando de 0,09 a 0,64.

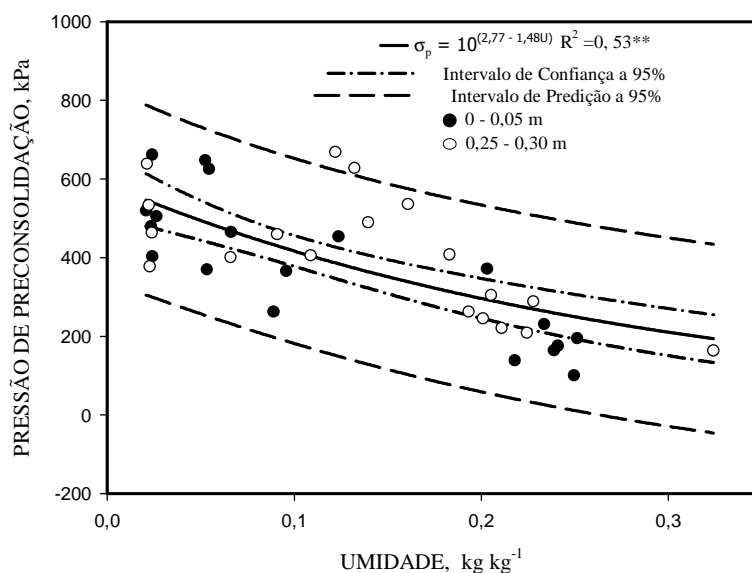
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Pressão de preconsolidação

Não foi observada diferença entre as duas profundidades do solo pela análise de variância, sendo plotados nos gráficos seguintes, os dados relativos às duas profundidades. Observa-se nas Figuras de 3 a 7 que, com o aumento da umidade gravimétrica (U), ocorre um decréscimo exponencial da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), seguindo o modelo determinado por Dias Junior (1994).

Para pastagens formadas com espécies de hábito de crescimento cespitoso, esperava-se uma maior compactação do solo em superfície, fato explicado pela maior quantidade de áreas de solo descoberto entre touceiras e, conseqüentemente, maior superfície exposta diretamente ao pisoteio animal. Porém, verificou-se que os maiores valores de  $\sigma_p$  foram encontrados em superfície para *A. gayanus* e em subsuperfície para *P. maximum*, que têm o mesmo hábito de crescimento cespitoso, indicando que o solo sob a espécie *P. maximum*, quando passa pelo processo de secagem, provoca um aumento exponencial da  $\sigma_p$  e o aumento da capacidade de suporte de carga do solo, implicando em maior resistência à compactação adicional.

Tal fato pode ser explicado pela variabilidade espacial da estrutura do solo, induzida pela ciclagem superficial de material orgânico, provocando uma desuniformidade na estruturação do solo (FIGURAS 3 e 4), todavia, foi encontrada maior  $\sigma_p$  em superfície quando em umidades mais baixas do solo, inferiores a 0,10 kg kg<sup>-1</sup>, sendo que a partir desta umidade, a camada em subsuperfície, apresentou maiores valores de  $\sigma_p$  em relação à camada superficial, com maiores valores de umidade, indicando a ocorrência de compactação do solo em subsuperfície.



**FIGURA 3.** Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o solo sob a espécie *A. gayanus*, nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m.

Considerando-se a umidade do solo no período da seca (abaixo dos 10 mm), na região em estudo, conforme dados do INPE (2007) e, aplicando-se a respectiva umidade no modelo obtido, verifica-se que as pressões de preconsolidação correspondentes atingem níveis elevados, superiores à pressão aplicada pelo pisoteio de animais adultos, que corresponde a aproximadamente 350 a 400 kPa, conforme Lima *et al.* (2004).

Segundo o CPTEC/INPE (2007), o armazenamento de água no solo no período do inverno, para a região de Janaúba, encontra-se abaixo dos 10 mm, indicando que neste período, o efeito do pisoteio influenciou pouco na compactação adicional do solo, uma vez que este se mostra mais resistente à compactação em umidades mais baixas, no entanto, com o aumento da umidade do solo, há um incremento significativo na suscetibilidade à compactação. Pode-se concluir que em áreas de pastagens cultivadas com *A. gayanus* e *P. maximum*, no período da

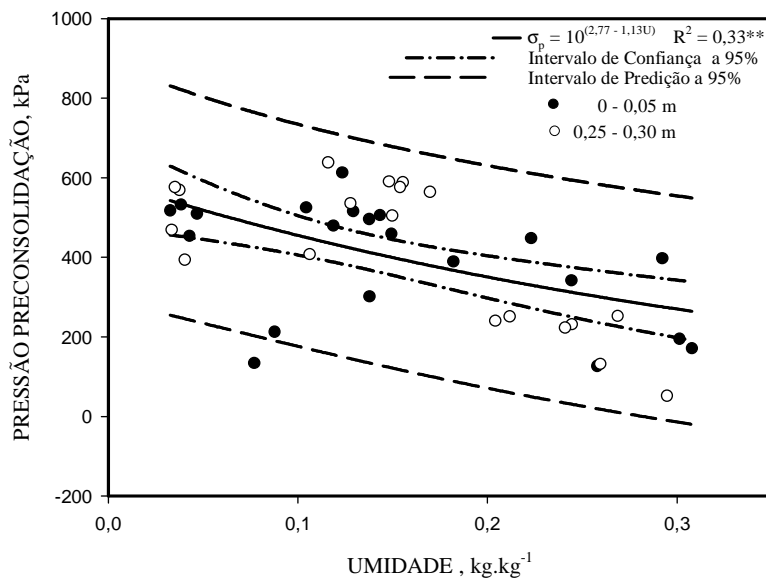
seca, o pisoteio animal afetará muito pouco o estado de compactação do solo, que apresenta  $\sigma_p$  superior à pressão exercida pelo pé do animal, acima do 450 kPa.

Conforme observado na Figura 3, a camada superficial do solo, quando submetida a umidades baixas, apresentou maior resistência à compactação com valores de  $\sigma_p$  mais elevados, indicando uma maior compactação do solo em superfície para a espécie *A. gayanus*, conforme observado por Kondo (1998), Bertol *et al.* (2000) e Lima (2004). Em subsuperfície, também foram observados para alguns pontos, valores elevados de  $\sigma_p$  em condição de mais baixa umidade evidenciando a importância da umidade no comportamento compressivo do solo.

Para *P. maximum*, há uma tendência a maiores valores de  $\sigma_p$  em subsuperfície quando em umidades mais baixas, porém, com o aumento da umidade para valores superiores a 0,20 kg. kg<sup>-1</sup>, houve uma inversão, com a maior capacidade de suporte de carga na camada superficial (Figura 4). Este fenômeno pode ser explicado pela presença de maior quantidade de material em decomposição na superfície do solo, o que eleva a capacidade de suporte de carga. A maior  $\sigma_p$  encontrada na subsuperfície é explicada pelo menor conteúdo de matéria orgânica em relação à superfície, aumentando sua suscetibilidade à deformação permanente de sua estrutura, consequência direta da transferência de cargas aplicadas pelo pisoteio animal.

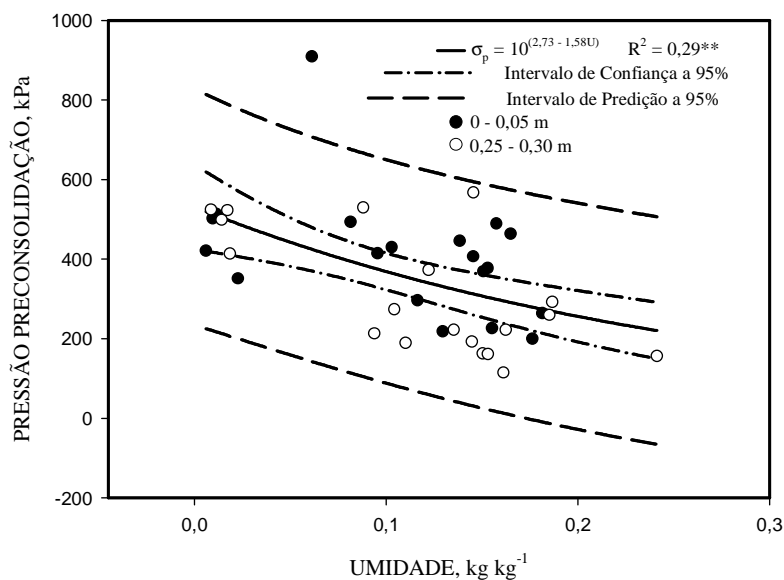
Tal fenômeno foi verificado por Lima (2004), avaliando o sistema de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado de *P. maximum* cv. Tanzânia, o qual mostrou que a compactação ocorreu superficialmente no solo e teve seus valores de  $\sigma_p$  semelhantes aos obtidos por Kondo (1998), que encontrou maior capacidade de suporte de carga em superfície num solo sob pastagem em relação a um solo sob cultura anual. Contudo, os resultados encontrados neste trabalho demonstram que com o uso prolongado da área com pastejo, sob diferentes espécies, faz com que a compactação do solo se reflita de

forma mais intensa em subsuperfície, uma vez que a matéria orgânica do solo, encontrada na superfície do solo, amortece o impacto do pisoteio animal assim como o de máquinas, conforme encontrado por Rosim (2007).



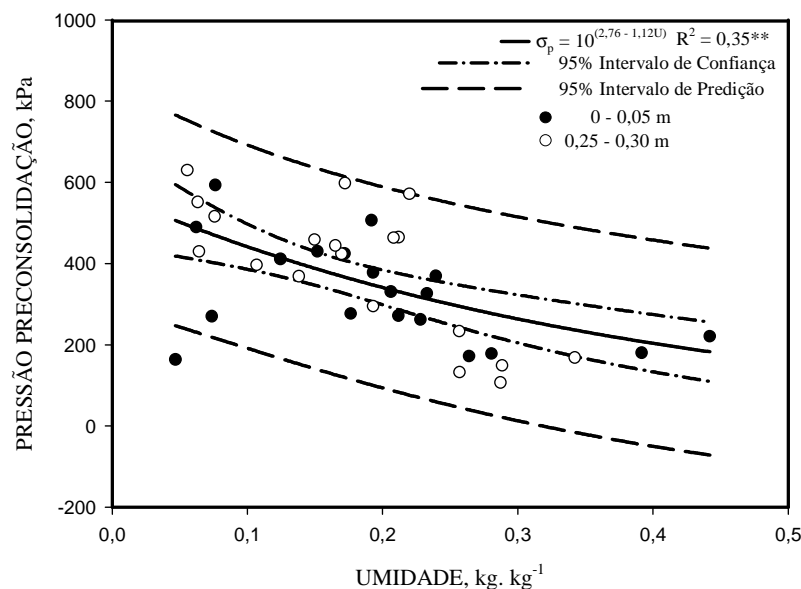
**FIGURA 4.** Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o solo sob a espécie *P. maximum*, nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m.

Em relação à espécie *C. ciliaris* (FIGURA 5), há uma tendência a maiores valores de  $\sigma_p$  em superfície, quando em umidades mais altas. O solo sob esta espécie, por ter textura arenosa, conforme a Tabela 1, provoca um empacotamento das partículas do solo com o aumento da umidade, gerando maior compactação em superfície, cuja camada correspondente é a que mantém contato direto com a pata do bovino.



**FIGURA 5.** Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o solo sob a espécie *C. ciliaris*, nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m.

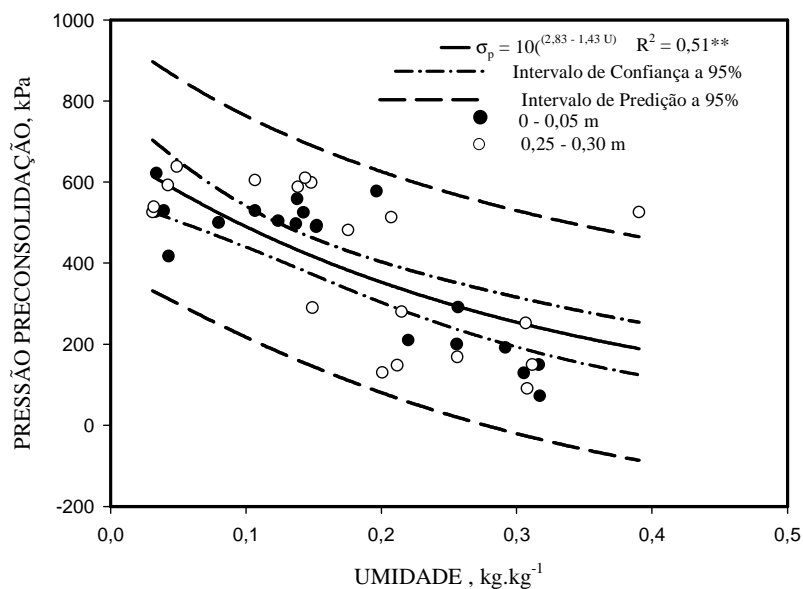
Em relação às espécies *B. decumbens* e *B. brizantha*, observaram-se maiores valores de  $\sigma_p$  em condição de subsuperfície quando em umidades mais baixas, porém, com o aumento da umidade, ocorre o contrário, onde maiores valores de  $\sigma_p$ , são observados para a superfície (FIGURAS 6 e 7).



**FIGURA 6.** Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o solo sob a espécie *B. decumbens*, nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m.

Para a espécie *B. decumbens*, pôde-se observar os maiores valores de  $\sigma_p$  em subsuperfície, com as umidades mais baixas até os 0,20 kg. kg<sup>-1</sup> onde, a partir deste nível, passa a haver uma maior resistência à compactação do solo da superfície, ocasionado pelo pisoteio dos animais. Este fato pode ser elucidado, pela estrutura do sistema radicular desta espécie ser fasciculado, possibilitando uma melhor estruturação do solo em subsuperfície, além do fato que a ocorrência de maiores quantidades de matéria orgânica no solo possibilita uma maior resistência à compactação. Este comportamento demonstra que o aumento no conteúdo de água do solo faz com que haja uma maior compactação do solo na superfície, sugerindo a necessidade de haver uma redução na umidade do solo para que possa haver a entrada dos animais para pastejo.





**FIGURA 7.** Relação entre a pressão de preconsolidação e a umidade gravimétrica para o solo sob a espécie *B. brizantha*, nas profundidades de 0 – 0,05 e 0,25 – 0,30 m.

Já para a espécie *B. brizantha* (Figura 7), apesar dos maiores valores de  $\sigma_p$  encontrados em subsuperfície, na faixa de menor umidade, há, com o aumento da umidade, uma maior resistência da camada superficial à compactação, indicando que o tipo de sistema radicular da espécie possibilita uma melhor estruturação do solo em camadas mais profundas. As pastagens submetidas a maiores intensidades de pastejo, com menores alturas de resíduo, apresentam maior compactação superficial, conforme encontrado por Conte *et al.* (2007). De forma complementar, Beutler; Centurion (2004) relatam que as plantas compensam o menor crescimento radicular em profundidade com o aumento do volume de raízes na camada de solo acima da que se encontra compactado.

Para a recuperação desses solos compactados, segundo Dias Junior; Pierce (1996), somente a subsolagem pode reduzir tal compactação em

subsuperfície, enquanto que o preparo convencional com arado e grade aplica-se somente à compactação superficial.

Uma melhor compreensão do processo de compactação pode ser realizada por meio do índice de compressão do solo ( $m$ ), que é um indicador da suscetibilidade do solo à compactação, correspondente à inclinação da reta de compressão virgem, extraída da curva de compressão do solo (Dias Junior; Pierce, 1996).

### 3.2. Índice de compressão

Apesar de algumas destas relações apresentarem  $R^2$  relativamente baixo, observa-se para todas as espécies forrageiras o mesmo comportamento, sendo distintas da relação quadrática observada por Kondo (1998).

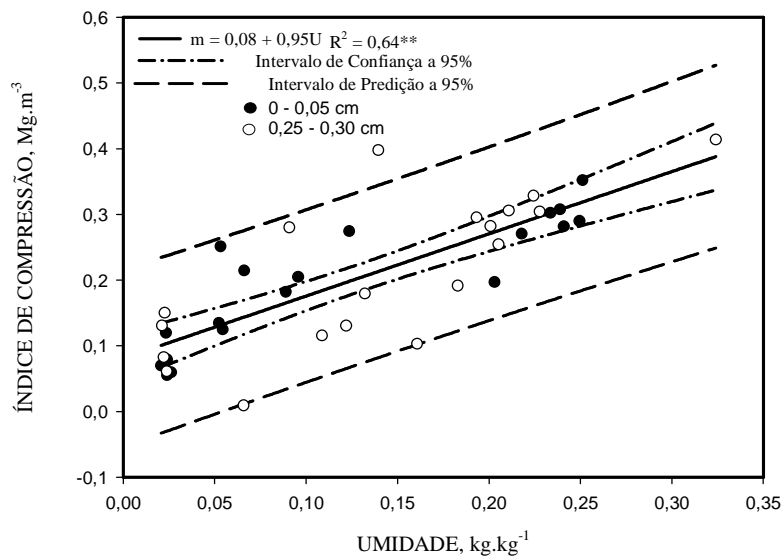
Considerando-se a situação ideal para se evitar compactação adicional do solo, deve-se ter uma umidade de preparo próxima da faixa de friabilidade do solo, acompanhada de um  $m$  mínimo, fornecendo baixas deformações plásticas.

O incremento no índice de compressão do solo quando mais úmido tem origem na ação da água como lubrificante entre as partículas, reduzindo o atrito ao deslocamento e rearranjo das partículas do solo, deixando-o mais plástico, alterando a sua consistência e tornando-o mais suscetível à compactação.

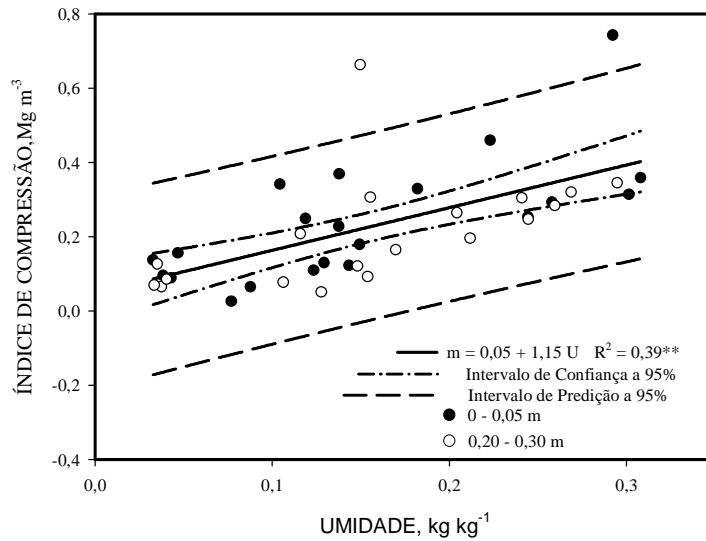
Observando-se os coeficientes angulares das equações ajustadas, verifica-se que as espécies cespitosas (*A. gayanus* e *P. maximum*) apresentam valores de  $m$  correspondentes a 0,95 e 1,15 vezes o valor de  $U$ , superiores aos valores obtidos para as outras três espécies. Tal fato é explicado pelos diferentes hábitos de crescimento, associados ao sistema radicular fasciculado das gramíneas, que proporciona uma melhor estruturação do solo, porém, acompanhado de um maior risco de compactação superficial do solo nas

espécies cespitosas, que possibilitam o tráfego dos animais entre as touceiras formadas.

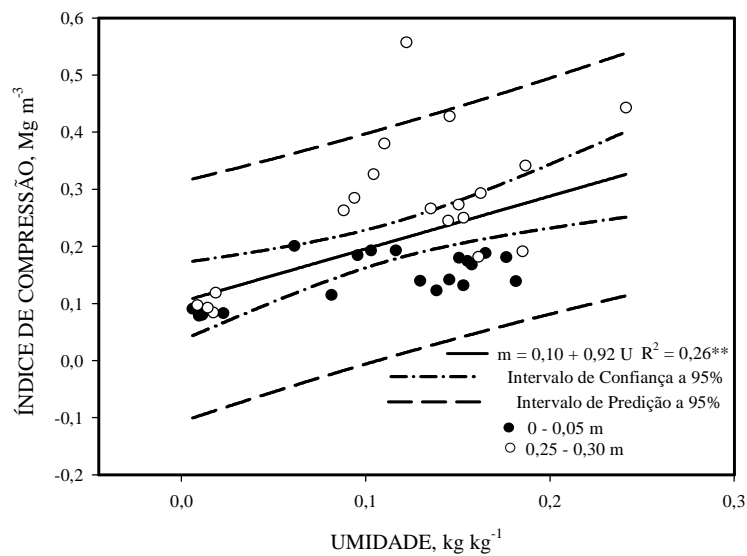
Segundo Lima (2004), a menor suscetibilidade dos solos arenosos (como aquele sob *C. ciliaris*) à compactação em superfície é decorrente do maior atrito entre as partículas de solos arenosos, o que dificulta a movimentação destas partículas para posições de maior proximidade. A textura determina o tipo, a forma e a distribuição do tamanho das partículas do solo e, como consequência, o número de contato entre elas, controlando, assim, a resistência do solo à deformação (HARTE, 2000). A fração argila também pode ter contribuído para a redução dos valores de  $m$ , embora estes tenham sido superiores àqueles relatados por Lima (2004) e Imhoff *et al.* (2004).



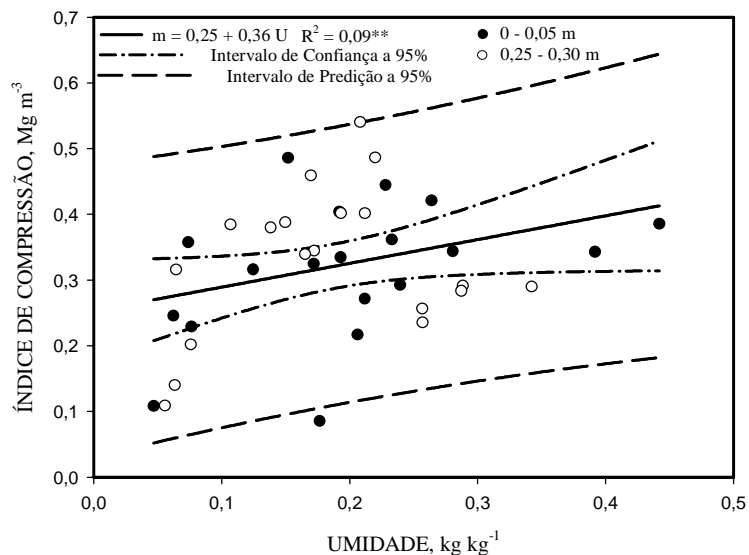
**FIGURA 8.** Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o solo cultivado com *A. gayanus*.



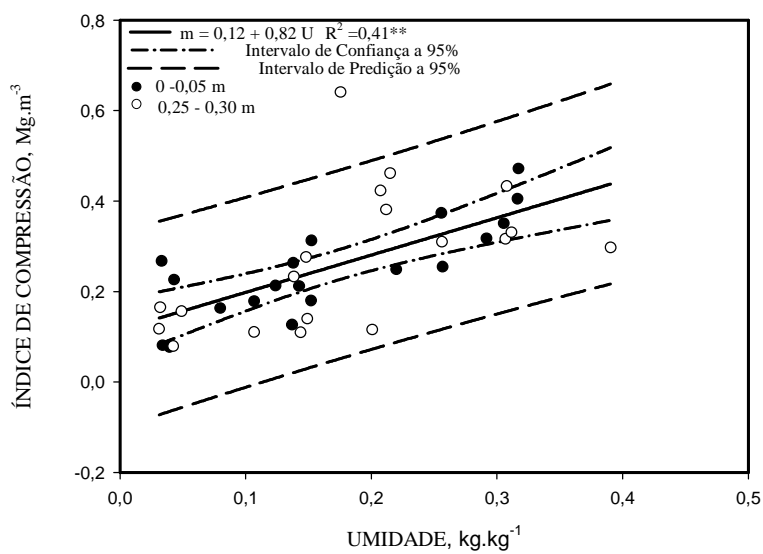
**FIGURA 9.** Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o solo cultivado com *P. maximum*.



**FIGURA 10.** Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o solo cultivado com *C. ciliaris*.



**FIGURA 11.** Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o solo cultivado com *B. decumbens*.



**FIGURA 12.** Relação entre o índice de compressão e a umidade gravimétrica para o solo cultivado com *B. brizantha*.

## 4 CONCLUSÕES

Variações nos atributos físicos e mecânicos do solo, induzidas pela espécie forrageira e manejo, alteraram o seu comportamento compressivo.

O aumento da umidade gravimétrica do solo provoca uma redução exponencial da capacidade de suporte de carga do solo e eleva linearmente sua suscetibilidade à compactação.

As espécies de hábito de crescimento cespitoso, como o *A. gayanus* e *P. maximum*, apresentaram maior compactação, respectivamente em superfície e em subsuperfície.

A compactação do solo foi mais intensa na espécie *C. ciliaris*, principalmente em superfície.

A redução da umidade do solo tornou a capacidade de suporte de carga em subsuperfície mais elevada do que em superfície para *B. decumbens* e *B. brizantha* que possuem hábito de crescimento prostrado.

Em pastagens sem movimentação do solo há mais de dez anos há a transmissão das pressões para a subsuperfície, não havendo restrições significativas ao pastejo dos animais no período do inverno na região do estudo, em função da maior capacidade de suporte de carga do solo com baixa umidade.

O índice de compressão do solo cresceu linearmente com a umidade, sendo mais elevado nas áreas cultivadas com espécies cespitosas, como *A. gayanus* e *P. maximum*, resultando em maior suscetibilidade à compactação destas áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.7, p. 849–856, jul. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n7/18207.pdf>> Acesso em: 01 jul. 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.6, p.581-8 2004.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. B. P. **Biomassa do sistema radicular e resistência do solo à penetração em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. Sob pastejo rotacionado.** Disponível em: <<http://www.sbz.org.br/anais2000/Forragem/382.pdf>> Acesso em: 01 julho 2006.

CASAGRANDE, A. The determination of the preconsolidation load and its practical significance. In: **Conference on soil mechanics and foundation engineering, Proceedings of the ICSMFE**, Cambridge, Mass., June, 22-26, v.3, p. 60–64, 1936.

COHRON, G.T. Forces causing soil compaction. In: BARNES, H.K. et al. **Compaction of agricultural soils**. Michigan: The American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.106-122.

COLLARES, G. L. **Compactação em Latossolos e Argissolo e relação com parâmetros de solo e de plantas.** 2005. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: <[http://www.ufra.edu.br/professores/antonio\\_ica/apresentacoes/trabalho18.pdf](http://www.ufra.edu.br/professores/antonio_ica/apresentacoes/trabalho18.pdf)> Acesso em: 27 out. 2007.

CONTE, O.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CEPIK, C.T.C.; DEBIASI, H.  
Demanda de tração em haste sulcadora na integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo e sua relação com o estado de compactação do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 220-228, jan./abr. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v27n1/16.pdf> > Acesso em: 06 set. 2007.

CPTEC/INPE. **Balanco de água no solo no município de Janaúba**, 2007. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/proclima2/balanco\\_hidrico/balancohidrico.shtml](http://www.cptec.inpe.br/proclima2/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml)>. Acesso em: 01 abr. 2008.

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

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

HARTE, K.K. The effect of soil deformation on physical soil properties: A discourse on the common background. In: Distribution, processes and consequences. *Advances in Geocology*. Reiskirchen: Catena Verlag, 2000. v. 32, p. 22-31.

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

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da 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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v35n7/1493.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:17-24, 2004.



KICHEL, A. N. A recuperação da pastagem degradada. In: Curso de Pós Graduação em Manejo da Pastagem, 2004, Uberaba. **Manejo da pastagem**. Uberaba:FAZU, 2004. p.7–95.

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

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

LEONARDS, G.A. **Foundation engineering**. New York: Mc Graw-Hill, 1962  
*apud* KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004. 70 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-24052004-160909/publico/claudia.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2007.

LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T.P. Compressibilidade de um Latossolo sob Sistemas de Pastejo Rotacionado Intensivo Irrigado e não Irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6, p. 945–951, 2004.

LIMA, C.L.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI; L. E.A.S.; DALBIANCO, L. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1166-1169, jul-ago, 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n4/a42v37n4.pdf>> Acesso em: 19 nov. 2007.

ROSIM, C. R. **Influência da quantidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho Distroférrico**. 2007. 55 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Ambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/PosIAC/Daniel%20Rosim2007.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2007.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois Latossolos sob plantio direto**. 2003. 128 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica de Solos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/teses/Secco%20tese%20Dr.pdf>>- UFSM>. Acesso em: 29 out. 2008.

SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A.; LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, 1997 *apud* KONDO, M. K. **Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

TREIN, C.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:105-111, 1991.

TRIMBLE, S.W.; MENDEL, A.C. The cow as geomorphic agent: a critical review. **Geomorphology**, v.13, p. 233 – 253, 1995.