

**ALTERAÇÕES NO COMPORTAMENTO  
FÍSICO-HÍDRICO DE UM ARGISSOLO SOB  
EFEITO DO CAPIM-TIFTON 85**

**EDUARDO NUNES DE MAGALHÃES**

**2007**

**EDUARDO NUNES DE MAGALHÃES**

**ALTERAÇÕES NO COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE UM  
ARGISSOLO SOB EFEITO DO CAPIM-TIFTON 85**

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

**Orientador**  
**Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**  
**2007**

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

Magalhães, Eduardo Nunes de.

Alterações no comportamento físico-hídrico de um argissolo sob efeito do capim-tifton 85 / Eduardo Nunes de Magalhães. – Lavras : UFLA, 2007. 29p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Geraldo César de Oliveira.

Bibliografia.

1. *Cynodon* sp. 2. Descompactação biológica. 3. Recuperação de pastagens. 4. Intervalo hídrico ótimo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

**EDUARDO NUNES DE MAGALHÃES**

**ALTERAÇÕES NO COMPORTAMENTO FÍSICO-HÍDRICO DE UM  
ARGISSOLO SOB EFEITO DO CAPIM-TIFTON 85**

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

APROVADA em 27 de julho de 2007

Prof. Dr. Carlos Rogério de Mello                      UFLA

Prof. Dr. José Maria de Lima                              UFLA

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Júnior                      UFLA

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira  
UFLA  
(Orientador)

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

**DEDICATÓRIA:**

A Deus, pelo seu propósito na minha vida.

Ao meu orientador,

Aos meus pais, José e Lúcia ,

Aos meus irmãos, William e Alex,

A minha avó Neusa e sua família,

Pelo carinho, compreensão, apoio e incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo seu fiel propósito, cumprido através da minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, que me acolheram como membro.

Ao professor Dr. Geraldo César de Oliveira que, com muita habilidade, destreza e compreensão, me orientou não apenas na confecção de uma dissertação mas também para a vida.

Aos colegas César, Bruno, Ivoney e Eduardo que compartilharam comigo seus conhecimentos e amizade.

Aos companheiros de jornada, Guilherme, Matheus e Francis, que souberam dividir comigo momentos de ansiedade e de muito trabalho.

A Dulce e ao Delane, pela compreensão, amizade e auxílio.

Ao meu grande amigo Marcus, pela sua enorme amizade e auxílio.

À minha namorada, Irene, que entendeu as minhas ausências e muito contribuiu para o meu sucesso.

E, principalmente, a minha família que foi solidária, companheira, auxiliadora e, com muito amor e carinho, me mostrou que as dificuldades da vida devem ser superadas e conquistadas.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5 CONCLUSÕES.....	23
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

## RESUMO

MAGALHÃES, Eduardo Nunes de. **Alterações no comportamento físico-hídrico de um argissolo sob efeito do capim-tifton 85**. 2007. 29 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

A compactação do solo, promovida pelo pisoteio animal e pelo tráfego de máquinas, é um dos grandes entraves à obtenção de elevadas produtividades das pastagens. Entretanto, os estudos de relação solo-pastagem não têm levado em consideração a descompactação biológica do solo, bem como os seus efeitos na produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar a produção de massa seca do capim-tifton 85 em função de diferentes graus de compactação do solo e o potencial de recuperação da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo, promovida pela planta forrageira. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com o cultivo do capim-tifton 85 nos seguintes graus de compactação: 64%, 84%, 90%, 93% e 100%, obtidos pelo ensaio de Proctor Normal. Foram avaliados os atributos físico-hídricos do solo, intervalo hídrico ótimo e a produção de massa seca da forrageira. O capim-tifton 85 recuperou a qualidade estrutural do Argissolo Vermelho-Amarelo. A descompactação do solo promoveu condições biofísicas do solo adequadas ao desenvolvimento da forrageira. A produção de massa seca aumentou com a sucessão dos cortes, independente do grau de compactação inicial do solo.

---

<sup>1</sup> **Orientador:** Prof. Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## ABSTRACT

MAGALHÃES, Eduardo Nunes de. **Physical-hydric behavior changes of an Argisol under effect of tifton 85 grass** 2007. 29 p. Dissertation (Master Science in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.<sup>1</sup>

The soil compaction promoted for animal trampling and traffic of machines, is one of great impediments to attainment of raised pasture productivities. However, the soil-pasture relationship studies have not taken in consideration the biological soil descompaction, as well as its effect in productivity. This study objective was to evaluate dry mass production of tifton 85 grass in function of different soil compaction degrees and potential of structural quality recovery of an Red-Yellow Argisol, promoted by forage plant. The experiment was carried out in green house, in delineation entirely randomized, with the tifton 85 grass crop in the following degrees of compacting: 64%, 84%, 90%, 93% and 100%, gotten for the assay of Normal Proctor. The attributes had been evaluated the soil physical- hydric, least limiting water range and forage dry mass production. Tifton 85 grass recovered the Red-Yellow Argisol structural quality. The soil descompaction promoted adequate soil biophysics conditions to forage development. The dry mass production increased with the cutting succession, independent of initial degree of soil compaction.

---

<sup>1</sup> **Guidance:** Prof. Geraldo César de Oliveira – DCS/UFLA.

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade pecuária no Brasil baseia-se no uso de pastagem como recurso alimentar e vem sofrendo mudanças significativas nos últimos anos, principalmente devido à competitividade do setor. Como o incremento da eficiência e da demanda, além da geração e da difusão de novas tecnologias, o conhecimento dos fatores que afetam a produtividade das pastagens é indispensável em sistemas de produção animal que buscam a máxima eficiência e lucratividade.

Devido à grande importância no contexto técnico-econômico dos sistemas de produção animal em pastagens, a planta forrageira tropical tem sido cada vez mais detalhada e estudada. Para tanto, suas necessidades em relação aos aspectos edafoclimáticos devem ser atendidas. Os fatores do meio conferem respostas muito variáveis em termos de produtividade e qualidade da pastagem. Portanto, o entendimento dos fatores que determinam a natureza da relação solo-planta-animal resulta em práticas de manejo racional, tornando os sistemas de produção animal a pasto mais competitivos e sustentáveis (Carvalho, 2000).

O Brasil vem, ao longo dos anos, se destacando na produção bovina. O estado de Minas Gerais ocupa o primeiro lugar em produção de leite no país e suas pastagens, principal fonte de energia para seu rebanho leiteiro, ocupam 65% da sua paisagem rural. A região Sul de Minas se destaca como a segunda maior bacia leiteira do estado, em termos de produção e está se especializando nessa atividade, com o uso crescente de recursos tecnológicos. Nesta região merecem destaque as microrregiões de Varginha, Passos, Santa Rita do Sapucaí, Lavras e Alfenas, por serem expoentes na produção de leite, constituindo a bacia leiteira mais tradicional de todo o estado de Minas Gerais (Galinari et al., 2002).

Apesar da importância das pastagens para a atividade pecuária, tanto na região como em todo o país, observa-se elevada degradação das mesmas. Em

estudo avaliando a composição botânica, o manejo das pastagens e a relação com atributos dos solos, em sub-bacias hidrográficas da região Sul de Minas, Machado (2005) verificou que cerca de 80% das áreas de pastagens apresentam alto grau de degradação.

A compactação do solo, promovida pelo pisoteio animal e pelo tráfego de máquinas, é um dos grandes entraves à obtenção de elevadas produtividades das pastagens (Lima et al., 2004), levando à queda da sua capacidade de suporte animal por reduzir gradativamente o vigor da forrageira e aumentar os processos erosivos do solo. Assim, torna-se necessário adequar o manejo aos fatores fitotécnicos, zootécnicos e edáficos dos sistemas de produção (Oliveira et al., 2007), a fim de se evitar a degradação das mesmas. Quando a compactação atinge níveis críticos, a porosidade de aeração é afetada e o solo passa a apresentar déficit de oxigênio às plantas (Leão et al., 2004), além de engrossamento de suas raízes numa forma de vencer as barreiras físicas (Dias Júnior, 2000).

A importância das pastagens não se restringe apenas à produção de massa seca para alimentação animal por ser também um componente ambiental importante pelo papel que exerce na cobertura dos solos e pela ação de suas raízes na formação e estabilização dos agregados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). O solo bem estruturado e protegido por uma pastagem densa apresenta maior infiltração das águas das chuvas, o que é fator primordial na perenização dos cursos d'água.

Há consenso, no meio técnico e científico, da necessidade de se conciliar sustentabilidade agrícola e ambiental. Em particular nas regiões de terras mais valorizadas, a exemplo do Sul de Minas Gerais, faz-se necessária a obtenção de produtividades que permitam tornar a agropecuária mais rentável e competitiva frente a outras possibilidades de uso do solo (Esteves et al., 1998). O grande desafio é conciliar ganho financeiro com um mínimo de impactos ambientais,

uma vez que a produção agrícola e a conservação ambiental devem ser vistas pelos produtores rurais como objetivos convergentes (Oliveira, 2002).

Muitas pesquisas foram desenvolvidas para o melhoramento de plantas forrageiras tornando-as aptas para explorar um maior volume do solo e eficientes no uso dos nutrientes. Em termos de melhoria estrutural do solo, os maiores benefícios das gramíneas estão relacionados à alta densidade e à periódica renovação radicular, além da liberação de exsudatos na rizosfera que estimulam a atividade microbiana, levando à formação e à estabilização dos agregados do solo (Silva & Mielniczuk, 1997; Moreira & Siqueira, 2006)

Dentre as gramíneas forrageiras, destaca-se o capim-tifton 85 (*Cynodon* sp.), que é o resultado do cruzamento do capim-tifton 68 com um acesso proveniente da África do Sul. Essa planta apresenta, como características, hastes grandes, são dotadas de folhas finas de cor verde-escuro e rizomas bem desenvolvidos, além de uma boa relação folha/colmo, o que lhe confere um bom valor nutritivo (Soares Filho et al., 2002). Assim como outras gramíneas, o capim-tifton 85 tem grande velocidade de resposta a fatores químicos do solo, graças à alta densidade do seu sistema radicular.

Apesar de inúmeros estudos envolvendo a caracterização e o monitoramento físico-hídrico dos solos sob diferentes forrageiras (Imhoff et al., 2000; Magalhães et al., 2001; Leão et al., 2004), os mesmos não têm elucidado o potencial de rompimento de barreiras de impedimento mecânico impostas em solos compactados por essas forrageiras, bem como os seus efeitos sobre a produtividade.

Na região Sul de Minas Gerais, observam-se aumentos de áreas de pastagens e de campos de produção de feno sob irrigação por meio de pivô central. Se, por um lado, essas técnicas potencializam a produtividade das áreas, não se pode deixar de considerar os seus impactos ambientais indesejáveis. Mesmo considerando todas as recomendações existentes, há, ainda, um fator

relevante que não vem sendo levado em consideração no que diz respeito ao impacto provocado pela carga de animais e de máquinas em condições de umidade do solo inadequada (Kondo Dias Junior, 1999; Imhoff et al., 2000).

Diante da importância da recuperação de pastagens no contexto solo-planta e no intuito de subsidiar sistemas sustentáveis de pastagens e campos de feno sob irrigação, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a produção do capim-tifton 85, em função da compactação do solo e o potencial de recuperação da qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho-Amarelo do Sul de Minas Gerais, promovida pela planta forrageira.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O potencial produtivo das pastagens é determinado por fatores relacionados ao clima, ao solo e à espécie forrageira. A estrutura do solo favorável ao crescimento do sistema radicular é a condição necessária para a obtenção e a manutenção de elevadas produtividades, devendo possuir baixa resistência à penetração das raízes e espaço poroso adequado ao movimento de água e gases (Imhoff et al., 2000).

Em termos de arranjo estrutural, um solo é considerado ideal para o pleno desenvolvimento das culturas quando apresenta adequada distribuição de poros, ou seja, tem boas condições de aeração, bom armazenamento de água, além de baixa resistência à penetração das raízes (Silva et al., 2001). Nesse sentido, a compactação do solo, provocada pelo pisoteio animal ou carga de máquinas, é um dos maiores empecilhos para a recuperação das pastagens.

A compactação tem sua origem na compressão do solo não saturado, durante a qual a densidade do solo sofre um incremento em função da redução no espaço poroso (Gupta et al., 1989). Embora essa compactação não deva ser considerada totalmente prejudicial, sabe-se que a porosidade excessiva também pode ser danosa por diminuir o contato do solo com as raízes (Hillel, 1982), bem como o aumento no volume de microporos em consequência da redução de parte da macroporosidade pode ser benéfico, por aumentar a retenção de água disponível às plantas (Oliveira et al., 2003). Entretanto, o aumento excessivo na densidade do solo pode ser indicativo de graves problemas para as plantas, pelo fato da compactação prejudicial dificultar o enraizamento e a absorção de nutrientes (Cintra & Mielniczuk, 1983; Camargo & Alleoni, 1997).

Atualmente, buscam-se forrageiras com sistemas radiculares mais agressivos para vencer as barreiras provocadas pelos impedimentos mecânicos em solos compactados. Os maiores benefícios das gramíneas estão relacionados

à melhoria da estrutura desses solos (Tisdall & Oades, 1979; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Paladini & Mielniczuk, 1991) e à conseqüente descompactação. Segundo estudo realizado por Stephenson & Veigel (1987), o alívio promovido pelas raízes de gramíneas, caracterizado pela diminuição da densidade do solo, pode chegar a 92%.

Os efeitos na estruturação dos solos, promovidos pelas gramíneas, são atribuídos, principalmente, à alta densidade de raízes, que promove: i) aproximação de partículas pela constante absorção de água, ii) periódicas renovações do sistema radicular e uniforme distribuição dos exsudatos no solo, que estimulam a atividade microbiana e iii) atuam na formação e na estabilização dos agregados (Silva & Mielniczuk, 1997; Moreira & Siqueira, 2006), além do envolvimento físico dos microagregados pelas raízes (Tisdall & Oades, 1979).

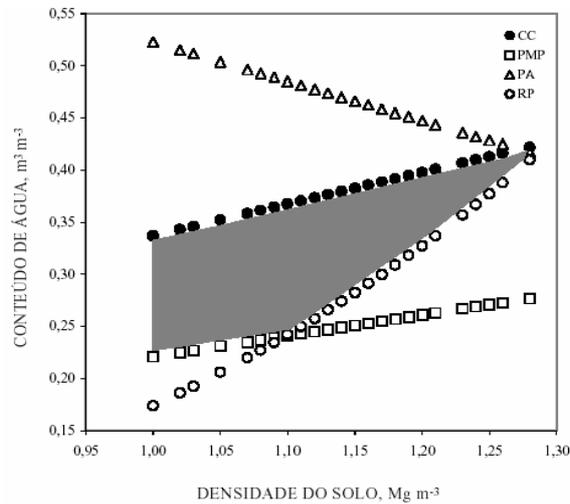
A análise da qualidade dos solos sob pastagens, atualmente, é realizada principalmente por três parâmetros físicos, que são: densidade do solo, resistência do solo à penetração e porosidade. Esses parâmetros são analisados separadamente ou em conjunto (Camargo & Alleoni, 1997; Torres & Saraiva, 2001). Os índices que refletem a qualidade do solo com base nesses parâmetros dependem da análise de outros atributos do solo, como textura, mineralogia, matéria orgânica, umidade do solo, além da classe de solo em questão. A literatura preconiza, como valores médios aceitáveis para essas variáveis, em torno de 1,3 Mg m<sup>-3</sup> para a densidade do solo de textura argilosa (Canillas & Salokhe, 2002), 2,5 MPa para a resistência do solo à penetração (Torres & Saraiva, 2001) e macroporosidade acima de 10% (Vomocil & Flocker, 1961).

O manejo inadequado do solo promove alterações em vários atributos físicos, os quais interagem entre si e, conseqüentemente, alteram o ambiente de crescimento das plantas. O conhecimento dessas interações sugere o uso de indicadores que integram diversos atributos do solo relacionados com o

crescimento das plantas em torno de um único parâmetro (Silva et al., 2001). Entre os indicadores de qualidade estrutural do solo, o intervalo hídrico ótimo (IHO) atende a esse requisito, sendo considerado, por esse motivo, o indicador que melhor se correlaciona à produção vegetal (Tormena et al., 2007).

O IHO é definido como a amplitude do conteúdo de água no solo na qual o potencial matricial, o oxigênio e a resistência mecânica não são limitantes para o crescimento de plantas (Silva et al., 1994). O risco de exposição das culturas a condições físicas do solo inadequadas depende dessa amplitude (Silva & Kay, 1997) e a quantificação do IHO exige a determinação dos limites superiores e inferiores de água disponível às plantas.

Os limites superiores são determinados pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) ou à porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ), e os limites inferiores, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) ou pelo conteúdo de água no solo que promove resistência do solo à penetração limitante ao desenvolvimento radicular ( $\theta_{RP}$ ) (Figura 1). Silva et al. (2001) salientam que quaisquer valores críticos podem ser utilizados sem alterar a aplicabilidade do conceito.



**FIGURA 1** Variação do conteúdo de água no solo dos parâmetros relacionados ao crescimento das plantas, em função da densidade do solo (Ds). Área destacada indica o intervalo hídrico ótimo (IHO). Fonte: Tormena et al. (1998).

Quando os limites superior e inferior são a CC e o PMP, respectivamente, considera-se que o solo apresenta adequada qualidade física, correspondendo ao conteúdo de água disponível (AD). Entretanto, com o incremento da Ds decorrente da degradação estrutural do solo, ocorre a substituição dos limites pela porosidade de aeração e pela umidade correspondente à resistência à penetração limitante, reduzindo o IHO (Tormena et al., 1998; Beutler et al., 2004; Leão et al., 2004), tornando-o, assim, um indicador mais sensível às alterações estruturais que a AD (Silva et al., 1994).

A Ds na qual o IHO assume o valor nulo é considerada como densidade crítica à produção vegetal (Dsc), uma vez que, para qualquer conteúdo de água no solo, ocorrerá limitação física para o desenvolvimento das plantas. Esse valor é dependente das características do solo (Silva et al., 1994; Imhoff et al., 2001;

Beutler et al., 2004; Cavalieri et al., 2006). Para solos Argilosos, ele tem se situado entre 1,20 e 1,30 kg dm<sup>-3</sup> (Tormena et al., 1998; Tormena et al., 2007).

O incremento na densidade do solo, provocado pela sua compactação, leva à redução do IHO, podendo criar restrições físico-hídricas severas às plantas forrageiras (Leão et al., 2004). Em pastagens irrigadas, como em sistemas de pastejo rotacionado ou em campos de produção de feno, as restrições físicas levam à redução da produtividade em resposta à irrigação, devido à aeração deficiente sob condições de elevados conteúdos de água no solo (Lapen et al., 2004).

O capim-tifton 85, amplamente utilizado na produção de feno, é um híbrido interespecífico (*Cynodon* spp.) selecionado do cruzamento entre uma bermuda (*Cynodon dactylon*) do sul da África e capim-bermuda cv. tifton 68 (*Clemfuensis*), com a introdução de genes para resistência ao frio, à seca e ao pisoteio (Sollenberger et al., 1995). Essa espécie forrageira tem sido disseminada nos sistemas de produção animal de Minas Gerais e de outros estados brasileiros. Há, entretanto, carência de pesquisas científicas relacionadas ao seu comportamento de crescimento, particularmente em condições adversas em relação à estrutura do solo, nos mais diferentes ambientes em que vem sendo implantada.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em casa de vegetação. Foram coletados materiais de solo proveniente de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (Embrapa, 2006), textura muito argilosa, do município de Lavras, MG, originado de gnaiss granítico. Essa classe de solo se destaca como uma das mais representativas da região de Lavras, MG (Pinto et al., 1995), sendo muito utilizada com pastagens. A caracterização granulométrica e os resultados do ataque sulfúrico e do complexo sortivo são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Utilizou-se a metodologia da Embrapa (1997).

**TABELA 1** Caracterização granulométrica e óxidos pelo ataque sulfúrico do Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Lavras, MG.

Dp <sup>1</sup> (kg dm <sup>-3</sup> )	Granulometria <sup>2</sup>			Ataque sulfúrico <sup>3</sup>				
	Areia	Silte	Argila	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ki	Kr
	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----			-----				
2,55	195	152	653	182	189	46	1,64	1,42

<sup>1</sup> Dp: Densidade de partículas, determinada pelo método do balão volumétrico (Média de 4 repetições); <sup>2</sup> Determinada pelo método da pipeta (média de 4 repetições); <sup>4</sup> Média de 4 repetições; Ki: relação molecular SiO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Kr: relação molecular SiO<sub>2</sub>: (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

**TABELA 2** Complexo sortivo do material de solo proveniente da camada superficial do Argissolo Vermelho-Amarelo do município de Lavras, MG.

T <sup>1</sup>	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	S	Zn	Fe	Mn	Cu	V <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	pH
	----- (cmolc dm <sup>-3</sup> ) -----					----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----						(%)	água	
2,4	0,4	0,1	0,5	1,9	0,9	6	19	0,4	64	12	2,3	22	21	5,6

<sup>1</sup>T: Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>2</sup>V: Saturação por bases; <sup>3</sup>Saturação por alumínio.

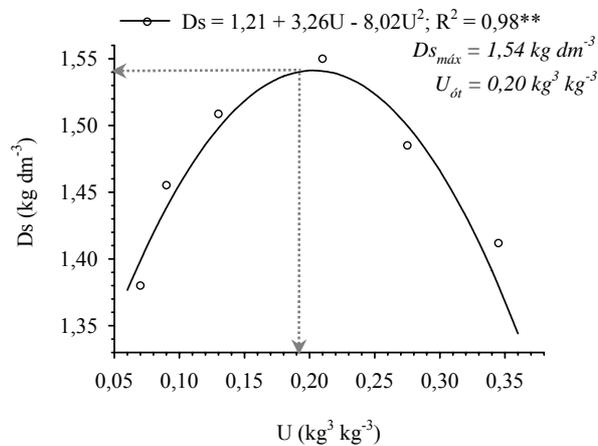
O material de solo foi padronizado passando-o por peneira de malha de 4,76 mm, segundo Dantas et al. (2004), ocasião em que promoveu-se a calagem, elevando-se a saturação de bases para 60%, utilizando-se calcário dolomítico com valor do PRNT de 95%. As correções das deficiências nutricionais foram realizadas com a aplicação de 230 mg kg<sup>-1</sup> de N, 20 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 40 mg kg<sup>-1</sup> de Zn, 5 mg kg<sup>-1</sup> de B, 50 mg kg<sup>-1</sup> de Cu e 15 mg kg<sup>-1</sup> de Mn, utilizando como fontes: nitrato de amônio, ácido fosfórico, cloreto de potássio, sulfato de zinco, ácido bórico, sulfato de cobre e sulfato de manganês, respectivamente.

Antes da implantação do experimento e, com a finalidade de determinação dos tratamentos, realizou-se o ensaio de Proctor Normal, segundo Stancati et al. (1981). A curva de compactação do solo foi obtida ajustando-se a densidade do solo (Ds) em função do conteúdo gravimétrico de água no solo (U) por meio de um polinômio do segundo grau ( $Y = aX^2 + bX + c$ ), conforme a Figura 2. A umidade ótima de compactação e a densidade máxima do solo foram obtidas pelas expressões 1 e 2:

$$U_{ót} = (-b/2a) \quad (1)$$

$$Ds_{máx} = \left[ -(b^2 - 4ac)/4a \right] \quad (2)$$

em que a, b e c são os coeficientes de ajuste da equação de regressão (Dias Júnior & Miranda, 2000).



**FIGURA 2** Curva de compactação [densidade do solo ( $Ds$ ,  $\text{kg dm}^{-3}$ ), em função do conteúdo de água no solo ( $\text{kg}^3 \text{ kg}^{-3}$ )] do Argissolo Vermelho-Amarelo, textura muito argilosa, do município de Lavras, MG.  $Ds_{máx}$ : densidade do solo máxima;  $U_{ót}$ : umidade ótima de compactação.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. As parcelas experimentais consistiram em vasos com volume de  $6,28 \text{ dm}^3$  (2 dm de diâmetro e 2 dm de altura). As densidades do solo foram obtidas com a utilização de uma prensa hidráulica, segundo Dantas et al. (2004), sendo os tratamentos constituídos pelos graus de compactação (GC) de 64%, 84%, 90%, 93% e 100%, considerando o ramo seco da curva de compactação do solo (esquerda do vértice da parábola), com 16 repetições, totalizando 80 parcelas. O GC foi calculado, segundo Santos et al. (2005), pela equação 3:

$$GC = Dsi / Dsmáx; \quad (3)$$

sendo  $Dsi$  é a densidade inicial do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

As Dsi correspondentes aos GC foram, respectivamente, 1,00, 1,30, 1,38, 1,43 e 1,54, sendo o primeiro valor referencial da Ds, simulando as condições de solo após a realização das operações de preparo do mesmo. Para a avaliação do potencial de descompactação biológica do capim-tifton 85, a composição dos demais tratamentos foi baseada no valor de  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$  e superiores a esse, considerado por Canillas & Salokhe (2002) como índice que reflete a qualidade de solos argilosos.

As mudas do capim-tifton 85 foram obtidas em um campo de produção de feno com, aproximadamente, 120 dias de idade. A implantação foi realizada em oito repetições, com o transplante de três estolões igualmente distribuídos por vaso, enquanto que as demais repetições não foram cultivadas com a forragem, a fim de comparar o alívio provocado na estrutura do solo após a implantação da forrageira. A irrigação foi procedida de modo a manter constante o valor entre 80% e 100% da capacidade de campo.

Foi realizado um corte de uniformização aos 57 dias após o transplante, à altura de 10 cm do solo. Posteriormente, realizaram-se três cortes de avaliação da forrageira, com intervalos de 27 dias para cada corte, à mesma altura descrita anteriormente. Durante a avaliação da forrageira, foram realizadas adubações de manutenção, com aplicação de  $160 \text{ mg kg}^{-1}$  de N e  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , utilizando como fontes uréia e cloreto de potássio, respectivamente. As adubações foram parceladas em duas aplicações por corte, a 0 e aos 7 dias após a avaliação da forrageira. Os materiais obtidos dos cortes da forrageira foram colocados em saco de papel, pesados e levados à estufa de ventilação forçada, a  $65^\circ\text{C}$ , por 72 horas, para a determinação da massa seca da parte aérea, conforme metodologia de Silva & Queiroz (2002).

Após o último corte de avaliação, coletaram-se duas amostras indeformadas por vaso, em cilindros com dimensões de 2,5 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro, para determinações físico-hídricas do solo. Uma das amostras

de cada vaso foi inicialmente saturada e submetida às tensões de -2, -4, -6 e -10 kPa na coluna de areia (Reichert & Reinert, 2006) e de -33, -100, -500 e -1500 kPa nos aparelhos extratores de Richards (Embrapa, 1997), para a determinação da retenção de água no solo.

As demais amostras foram ajustadas às tensões de -2, -6, -33 e -1500 kPa e submetidas ao ensaio de resistência do solo à penetração (RP), segundo Tormena et al. (1998), utilizando um penetrômetro eletrônico modelo MA 933, marca Marconi, com velocidade constante de 10 cm min<sup>-1</sup>. Em seguida, as amostras foram secadas em estufa, a 105°C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds), segundo Embrapa (1997).

A microporosidade foi considerada como sendo a água retida na tensão de -6 kPa (Embrapa, 1997). O volume total de poros (VTP) foi determinado pela expressão 4:

$$VTP = (1 - Ds/Dp) \quad (4)$$

sendo Ds: densidade do solo e Dp: densidade de partículas; a macroporosidade foi obtida pela diferença entre VTP e microporosidade, segundo metodologia descrita por Embrapa (1997).

A curva de retenção de água (CRA) foi obtida ajustando-se o conteúdo de água ( $\theta$ ) em função da Ds e do potencial matricial ( $\Psi$ ), utilizando-se os procedimentos descritos por Silva et al. (1994), conforme equação 5:

$$\theta = 0,54 Ds^{0,47} \Psi^{-0,131}; R^2 = 0,92^{**} (n = 80) \quad (5)$$

em que:  $\theta$  é o conteúdo de água no solo, Ds é a densidade do solo e  $\psi$  é o potencial matricial.

Os valores de resistência à penetração (RP), obtidos em  $\text{kgf cm}^{-2}$ , foram multiplicados pelo fator 0,098, para transformação em MPa. A curva de resistência do solo à penetração (CRP) foi obtida ajustando-se os valores de RP em função do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ) e da Ds, utilizando-se o modelo não linear proposto por Busscher (1990), segundo a equação 6:

$$RP = 0,18 \theta^{-1,35} Ds^{5,33}; R^2 = 0,96^{**} (n = 80) \quad (6)$$

em que RP é a resistência do solo à penetração,  $\theta$  é o conteúdo de água no solo e Ds é a densidade do solo.

Na determinação dos limites superiores do IHO, consideraram-se o conteúdo de água no solo na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e ou aquele em que a porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura. Os limites inferiores foram considerados como conteúdo de água no solo correspondente ao ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ) e ou aquele correspondente à resistência à penetração limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

Para a obtenção da  $\theta_{CC}$ , substituiu-se o valor de tensão de água no solo correspondente a -10 kPa na equação 5, obtendo-se a 7, enquanto que a  $\theta_{PA}$  correspondeu ao conteúdo de água no solo em que a porosidade de aeração é  $0,10 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$  (Silva et al., 2001), obtida pela equação 8. O  $\theta_{PMP}$  foi obtido substituindo-se o potencial matricial correspondente a -1500 kPa na equação 5, dando origem à 9, ao passo que a  $\theta_{RP}$  foi obtida substituindo-se o valor da RP por 2,5 MPa (Camargo & Alleoni, 1997) na equação 6, resultando na 10:

$$\theta_{CC} = 0,40 Ds^{0,47} \quad (7)$$

$$\theta_{PA} = (VTP - 0,1) \quad (8)$$

$$\theta_{PMP} = 0,21 Ds^{0,47} \quad (9)$$

$$\theta_{RP} = [2,5 / (0,18 Ds^{5,33})]^{-0,74} \quad (10)$$

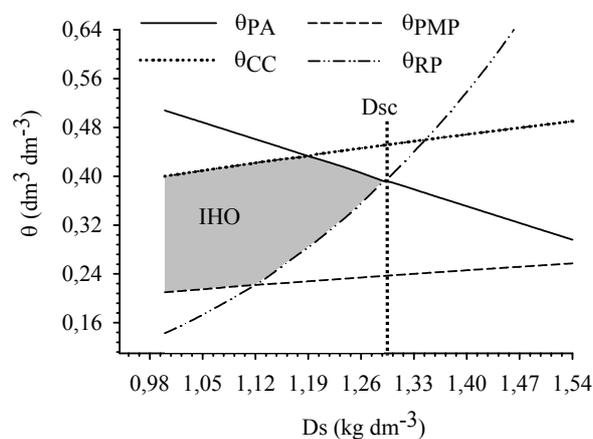
em que  $\theta_{CC}$  é o conteúdo de água no solo correspondente à capacidade de campo;  $\theta_{PA}$  é a porosidade de aeração;  $\theta_{PMP}$  é o ponto de murcha permanente;  $\theta_{RP}$  é a resistência do solo à penetração;  $Ds$  é a densidade do solo e  $VTP$  é o volume total de poros.

O IHO foi obtido ajustando-se os limites do conteúdo de água no solo em função da  $Ds$  (Silva et al., 1994). A densidade do solo crítica ao desenvolvimento das plantas ( $Dsc$ ) foi considerada como o valor de  $Ds$  em que o  $IHO=0$ . A água disponível ( $AD$ ) foi determinada pela diferença entre os conteúdos volumétricos de água na capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) e no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), quando estes foram os limites superiores e inferiores do IHO.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, segundo delineamento inteiramente casualizado. As comparações das médias foram realizadas pelo teste de tukey, a 5% de probabilidade. O potencial de recuperação da estrutura do solo pelo capim-tifton 85 foi determinado ajustando-se os IHOs obtidos antes e após o cultivo, em função do grau de compactação e com base nas alterações nos atributos físicos do solo provocadas pelo capim-tifton 85.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento da retenção de água no solo na  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  com o incremento na compactação do solo observado na Figura 3 pode ser atribuído à maior quantidade de partículas disponíveis para a retenção de água por unidade de volume de solo (Van den Berg, 1997). A partir da  $D_s$  1,12 kg dm<sup>-3</sup> a  $\theta_{RP}$  passou a limitar o desenvolvimento das plantas pela imposição de camada de impedimento mecânico sob baixos conteúdos de água no solo. Por outro lado, a partir da  $D_s$  de 1,19 kg dm<sup>-3</sup>, a aeração do solo pode restringir o desenvolvimento das plantas sob elevados conteúdos de água no solo (Lapen et al., 2004), atingindo o valor de  $D_{sc}$  em 1,28 kg dm<sup>-3</sup>, no qual as plantas terão seu crescimento afetado por restrições físicas do solo, devido à nulidade do IHO em qualquer conteúdo de água no solo. Esses resultados corroboram com os encontrados por Tormenta et al. (1998) em um Latossolo da mesma classe textural do solo estudado.



**FIGURA 3** Variação do conteúdo volumétrico de água ( $\theta$ ,  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ ) com a densidade do solo ( $D_s$ ), do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), para os limites críticos de capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ), ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ), porosidade de aeração ( $\theta_{PA}$ ) e resistência do solo à penetração ( $\theta_{RP}$ ). IHO = intervalo hídrico ótimo Dsc: densidade do solo crítica à produção vegetal.

Analisando-se os valores de  $D_s$  correspondentes aos graus de compactação avaliados, observa-se que, com exceção da  $D_s$  de  $1,00 \text{ kg dm}^{-3}$  ( $GC = 64\%$ ), a compactação do solo promoveu valores de  $D_s > D_{sc}$ , sugerindo severa degradação estrutural potencialmente capaz de restringir o pleno desenvolvimento do capim-tifton 85, mesmo estando o solo com umidade próximo à capacidade de campo ( $\theta_{CC}$ ) (Tormena et al., 2007) a qual foi mantida ao longo do experimento.

Avaliando a influência da subsolagem biológica do solo provocada pelo cultivo da crotalária em um Argissolo Vermelho-Amarelo arênico, Abreu et al. (2004) não verificaram diferenças nas relações entre massa e volume do solo ao compararem com a condição do solo sem cultivo, o que se deve à morfologia

pivotante do sistema radicular dessa cultura. Os dados da Tabela 3 demonstram a agressividade do sistema radicular da forrageira em estudo e o seu potencial de recuperação da qualidade estrutural do solo por meio da descompactação biológica do mesmo.

**TABELA 3** Atributos físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico do município de Lavras, MG, antes e após o cultivo do capim-tifton 85<sup>1</sup>.

GC (%)	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )		Macroporosidade (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )		Microporosidade (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
64	1,00bC	1,10aB	0,23aA	0,16bA	0,38aA	0,41aA
84	1,30aB	1,12bB	0,07 bB	0,17aA	0,42aA	0,39aA
90	1,38aB	1,17bAB	0,04 bB	0,15aA	0,43aA	0,39aA
93	1,43aAB	1,18bAB	0,01bBC	0,14aAB	0,44aA	0,42aA
100	1,54aA	1,20bA	0,003bC	0,13aAB	0,44aA	0,41aA

<sup>1</sup> Para cada parâmetro analisado, médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha (antes e após) e maiúscula na coluna não diferem entre si, para cada variável, pelo teste Tukey, a 5% de significância. GC: grau de compactação; Ds: densidade do solo, Macro: macroporosidade do solo; Micro: microporosidade do solo. Valores de GC antes do cultivo do capim-tifton 85.

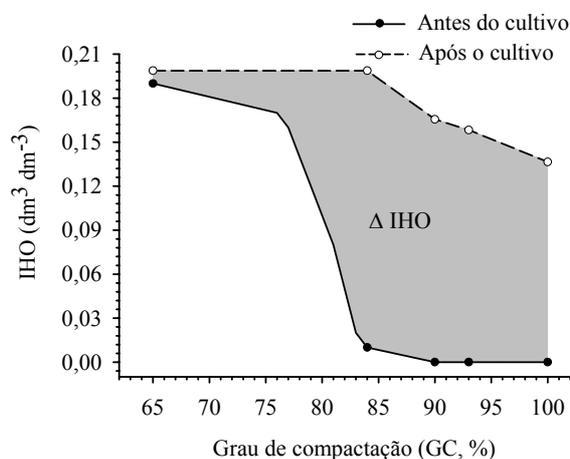
Considerando valores de macroporosidade inferiores a 0,10 dm<sup>3</sup> dm<sup>-3</sup> como limitantes ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas (Oliveira et al., 2007), observa-se que, à exceção dos vasos cujos materiais de solos se encontravam com densidade de 1,0 kg dm<sup>-3</sup>, todos os demais apresentavam condições consideradas limitantes ao melhor desenvolvimento do capim (Tabela 3). A avaliação realizada após o cultivo evidenciou a franca recuperação da estrutura do solo, haja vista os valores de macroporosidade superiores àquele considerado limitante. Salienta-se que a microporosidade do

solo permaneceu inalterada, independente do GC ou da época de avaliação (Tabela 3), corroborando com Hillel (1982).

Observa-se que houve um incremento de 10% na Ds correspondente ao GC de 64%, o que ocorreu à custa da redução de parte da macroporosidade (de  $0,23 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$  para  $0,16 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ ; Tabela 3). Isso ocorreu, provavelmente, devido à pressão das raízes do capim sobre o solo, promovendo a reconsolidação das partículas (Silva & Mielniczuk, 1997).

Quando se compara a variação temporal desses dois atributos para os demais GC, verifica-se que o capim-tifton 85 promoveu significativas reduções na Ds e aumentos na macroporosidade. Para o GC de 100%, a Ds reduziu 22%, ao passo que a macroporosidade do solo aumentou em 4333% (de  $0,003$  para  $0,13 \text{ dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ ) após o cultivo do capim. A recuperação da qualidade estrutural do solo, além de representar melhores condições para a produção vegetal, assume grande importância no contexto ambiental, devido à forte correlação entre a macroporosidade e a infiltração de água no solo, resultando na redução do processo erosivo (Sales et al., 1999).

Analisando-se os efeitos do cultivo do capim no IHO (Figura 4), observa-se que o incremento na disponibilidade de água às plantas, em todos os GC avaliados, deve ter favorecido um maior desenvolvimento de raízes metabolicamente ativas que, por sua vez, contribui sucessivamente com o aumento da descompactação do solo. Assim, sugere-se que o capim-tifton 85 cultivado em solos com camada de impedimento mecânico tende a sofrer alterações morfofisiológicas que, associada à alta densidade e à periódica renovação radicular (Silva & Mielniczuk, 1997), resultam na recuperação da qualidade estrutural, de modo a beneficiar o crescimento das plantas, por reduzir as restrições físicas ao desenvolvimento das mesmas.

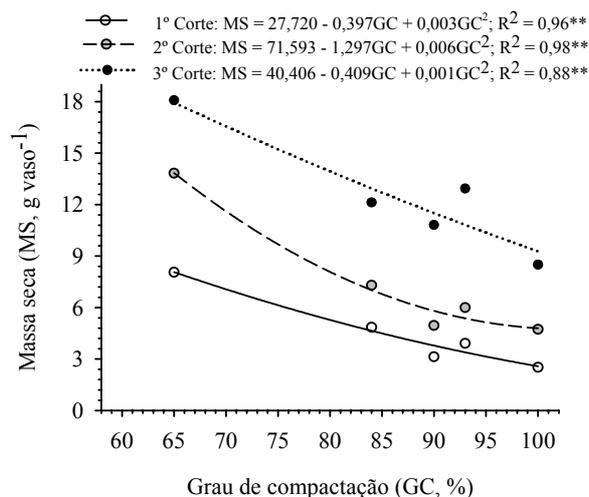


**FIGURA 4** Alterações no intervalo hídrico ótimo (IHO,  $\text{dm}^3 \text{dm}^{-3}$ ), em função do grau de compactação (GC, %), do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) cultivado com capim-tifton 85.  $\Delta$ IHO = efeito do cultivo do capim-tifton 85 no incremento do intervalo hídrico ótimo.

Corroborando a afirmação anterior, o gráfico da Figura 5 mostra que, à medida que a forrageira recupera a qualidade estrutural do solo, a produção de massa seca também vai sofrendo incremento. Entretanto, apesar do capim-tifton 85 ter sido muito eficiente na melhoria da estrutura do Argissolo Vermelho-Amarelo em estudo, a produção de massa seca da forragem nos três cortes avaliados foi comprometida com o aumento do GC.

Além da severa restrição física imposta pelo IHO do solo antes do cultivo (Figura 3), Ferreras et al. (2001) salientam que valores de GC superiores a 85% provocam grandes reduções no volume de macroporos, o que pode ser verificado na Tabela 3. Esse fato compromete seriamente o crescimento e o rendimento das forrageiras, devido à energia gasta pela planta no rompimento da camada de impedimento mecânico ao sistema radicular. Por outro lado, os incrementos na produção observados na sucessão dos cortes indicam que, à

medida que ocorre a recuperação da qualidade estrutural do solo, ocorre incremento na produção, em função da maior conversão de fotoassimilados em massa seca.



**FIGURA 5** Produção de massa seca 85 (g vaso<sup>-1</sup>) do capim-tifton, em função do grau de compactação do solo (%).

Salienta-se que os valores de  $D_s$  após o cultivo do capim-tifton 85 em qualquer tratamento se situaram entre 1,10 e 1,20 kg dm<sup>-3</sup> (Tabela 3); conseqüentemente, os valores do GC também apresentaram reduções, situando-se entre 71% e 78%, em todas as condições avaliadas. O aumento na produção de massa seca da forrageira no GC inicial de 64% (Figura 5) pode estar relacionado à reconsolidação das partículas do solo, o que promoveria melhor contato solo-raiz e condições biofísicas favoráveis ao desenvolvimento da planta, evidenciando o efeito benéfico de certa compactação do solo.

## **5 CONCLUSÕES**

O capim-tifton 85 recuperou a qualidade estrutural do Argissolo Vermelho-Amarelo.

A descompactação do solo promoveu condições biofísicas do solo adequadas ao desenvolvimento da forrageira.

A produção de massa seca aumentou com a sucessão dos cortes, independente do grau de compactação inicial do solo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 575-583, 2004.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. **Transactions of the ASAE**, v. 33, p. 519-524, 1990.

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

CANNILAS, E. C.; SALOCKE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 221-230, 2002.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 99-105, 1990.

CARVALHO, C.A.B. de. **Padrões demográficos de perfilhamento e acúmulo de forragem em pastagens de Cynodon ssp.** manejadas em quatro intensidades de pastejo. 2000. 96p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Piracicaba, SP.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; ANDRADE, A.C. GONÇALVES; COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 137-147, 2006.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 323-327, 1983.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCAEFER, C. E. G. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 55-94.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2006. 306p.

ESTEVES, S.N.; SCHIFFER, E.A.; NOVO, A.L.M. Produção de bovinos de corte em manejo intensivo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO INTENSIVA DE GADO DE CORTE, 1998, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: CBNA, 1998. p. 11-21.

FERRERAS, L. A.; BATTISTA, J. J. DE; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parâmetros físicos del suelo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 161-170, 2001

GALINARI, R.; LEMOS, M. B.; SANTOS, F.; CAMPOS, B.C. ; BIAZI, E. Tecnologia, especialização regional e produtividade: um estudo da pecuária leiteira em Minas Gerais. In: SEMINÁRIO SOBRE A ECONOMIA MINEIRA, 10., 2002, Diamantina. **Anais...** Belo Horizonte: CEDEPLAR-UFMG, 2002.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SHAFER, R. L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOOHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanical and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1989. p.137-152.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic, 1982. 364 p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas Para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, p. 11-18, 2001.

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**, v. 35, p. 1493-1500, 2000.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 23 p. 497-506, 1999.

LAPEN, D. R.; TOPP, G. C.; GREGORICH, E. G.; CURNOE, W. E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil Tillage Research**, v. 78, p. 151-170, 2004.

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, p. 415-423, 2004.

LIMA, C. L. R.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; LEÃO, T. P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 945-951, 2004.

MACHADO, W. A. **Composição botânica, manejo de pastagens e relação com atributos dos solos em sub-bacias hidrográficas da região de Lavras, MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MAGALHÃES, R. T.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I. P. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do Sistema Barreirão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, p. 7-13, 2001.

MEDEIROS, R. D. ; SOARES, A. A. ; GUIMARÃES, R. M. . Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca

de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 940-947, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

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

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

OLIVEIRA G. C.; SEVERIANO, E. C.; MELLO, C. R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, p. 265–270, 2007.

PALADINI, F. C. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.

PINTO, L. V. A. et al. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. **Scientia Forestalis**, Lavras, n. 65, p. 197-206, 1995.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

SALES, L. E. O.; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S.; CURTI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2091-2095, 1999.

SANTOS, G. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 740-752, 2005.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soil from properties and management. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 977-883, 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos** (métodos químicos e biológicos). Imprensa Universitária da UFV. Viçosa, 3 ed. 2002, 235 p.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2001. p. 1-20.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 311-317, 1997.

SOARES FILHO, C. V.; RODRIGUES, L. R. A.; PERRI, S. H. V. Produção e valor nutritivo de dez gramíneas forrageiras na região Noroeste do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1377-1384, 2002.

SOLLENBERGER, L. E.; PEDREIRA, G. G. S.; MISLEVY, P.; ANDRADE, I. F. New Cynodon forager for the subtropics and tropics. In: INTERNACIONAL COFERENCE LIVESTOCK IN THE TROPICS, 1995, Gainesville. **Proceedings...** Florida, 1995. p. 22-26.

STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. **Ensaio de laboratório de mecânica dos solos**. São Carlos: USP, 1981. 208 p.

STEPHENSON, G. R.; VEIGEL, A. Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding. **Journal Management**, v. 40, p. 46-48, 1987.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. **Australian Journal of Soil Research**, v. 17, p. 429-441, 1979.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com soja**. Londrina: Embrapa – CNPSO, 2001. 58p.

VAN DEN BERG, B. P. Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a shrotgrass praire site. **Journal of Range Management**, v. 35, n. 5, p. 586-588, 1997.

VOMOCIL, J. A.; FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **America Society Agriculture Engenerring**, v. 4, p. 242-246, 1961.