



VICO MENDES PEREIRA LIMA

**MELHORIA ESTRUTURAL DE LATOSSOLO:
INDICADORES DE QUALIDADE E
ESTRATÉGIAS DE MANEJO**

LAVRAS – MG

2011

VICO MENDES PEREIRA LIMA

**MELHORIA ESTRUTURAL DE LATOSSOLO:
INDICADORES DE QUALIDADE E
ESTRATÉGIAS DE MANEJO**

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

Orientador
Dr. Geraldo César de Oliveira

**LAVRAS – MG
2011**

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

Lima, Vico Mendes Pereira.

Melhoria estrutural de Latossolo : indicadores de qualidade e estratégias de manejo / Vico Mendes Pereira Lima. – Lavras : UFLA, 2011.

108 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Geraldo César de Oliveira.

Bibliografia.

1. Intervalo hídrico ótimo. 2. Capacidade de suporte de carga. 3. Conservação do solo e água. 4. Qualidade física do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

VICO MENDES PEREIRA LIMA

**MELHORIA ESTRUTURAL DE LATOSSOLO:
INDICADORES DE QUALIDADE E
ESTRATÉGIAS DE MANEJO**

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

APROVADA em 08 de agosto de 2011.

Dr. Antônio Ricardo Evangelista	UFVJM
Dr. Richard John Heck	UofG (University of Guelph)
Dr. José Maria de Lima	UFLA
Dr. Nilton Curi	UFLA

Dr. Geraldo César de Oliveira
Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

**A todos as pessoas que lutam por um Jequitinhonha melhor,
OFEREÇO**

**A minha família, que se torna maior a cada dia,
DEDICO.**

**"Espalha a pilha de palha, enterce, tece e trança. E já a cesta agasalha, e
que não morra: esperança"**

Rubinho do Vale

AGRADECIMENTOS

A Deus.

A meus pais, João e Maria e meus irmãos, Joan e Marílis, pela educação e convivência.

A minha família, bisavó, avós, tios e primos, pela eterna confiança e pelos longos braços abertos sempre a me receber.

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

Ao professor Dr. Geraldo César de Oliveira, pela amizade, orientação e confiança.

Aos professores Antônio Ricardo Evangelista, José Maria de Lima, Richard John Heck e Nilton Curi, pelos ensinamentos, apoio no desenvolvimento da pesquisa e participação na banca examinadora.

Aos professores da UFLA que participaram da minha formação, em especial Mozart Martins Ferreira, Carlos Alberto Silva, Antônio Eduardo Furtini Neto, João José Granate de Sá e Melo Marques, Fátima Maria de Souza Moreira, Valdemar Faquin, Yuri Lopes Zinn, Janice Guedes de Carvalho, Vicente Gualberto, Luis Roberto Guimarães Guilherme, Moacir de Souza Dias Junior, José Oswaldo Siqueira, Douglas Guelfi e Alfredo Scheid Lopes.

Aos técnicos dos laboratórios de Física do Solo e Conservação do Solo e Água, pelo apoio para realização deste trabalho, em especial Dulce, Carlinhos e Dotorel e aos demais técnicos do Departamento de Ciência do Solo.

As secretárias do Departamento de Ciência do Solo, pelo apoio na realização deste trabalho, em especial Dirce e Maria Alice.

Ao Sítio Cata Vento, em especial ao funcionário "Zé", pela amizade e indispensável ajuda nos momentos de trabalho.

Aos amigos Ciro, Milson, Carla, Vitória, Bruno, Elisa, Samara, Érika, Marcos Vinícius, Édila, Leandro, Arthur, Betânia, Bárbara, Karine, Eduardo Severiano, Cézar, Bruno Pires, Bruno Lima, Cezinha, Piero, Anna Hoffman, Maykom, Mayesse, Jeruza, Maurício, Paulo Ademar, Plínio, Geila, Ênio, Silvio, Veridiana, Tiago, Ayeska, Adriana, Alisson, Ana Paula, Daniela, Eduane, Giovana, Henrique, Lauana, Paulo, Walbert, Wesley, Alba, Amanda, Cândido, Cléber, Diego, Elen, Fábio Ono, Fábio Satoshi, Fabrício, Gabriela Lima, Gabriela Pinheiro, Guilherme Amaral, Guilherme Lopes, Inêz, Julian, Karina, Leandro, Letúzia, Márcia, Marla, Michele, Nima, Paula Cristina, Paula Sant'Anna, Rodrigo, Teotonio, Thiago Reis, Vanessa, Viviane, Waldete, Zé Henrique, Alexandre, Guilherme, Flávia, Renan, Raul, Guilherme, Abel, Guto, Ivan, Sibebe e André.

Aos amigos de infância que sempre estiveram comigo, em especial Luiza, Clarise, Grace, Datus, Daniel, Vinícius, Alexandre, Enzo, Raman, Larrif, Liziane e Adna.

A Anne, pela amizade, carinho e confiança.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

A todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Os Latossolos desempenham no ambiente a importante função de recarga de aquíferos e, concomitantemente, esta é a principal ordem de solos sob uso agrícola no Brasil. No entanto, a sustentabilidade ambiental e dos sistemas produtivos pode ser comprometida, principalmente para Latossolos que, quando incorporados aos sistemas produtivos, podem ter seu espaço poroso drasticamente reduzido, conduzindo à degradação e a processos erosivos. Para melhorar e manter a qualidade estrutural dos solos, vem sendo recomendada a utilização de gramíneas perenes que, quando bem formadas e manejadas, representam um componente ambiental importante pelo papel que exercem na cobertura dos solos, na formação e na estabilização dos agregados, e na redução do adensamento ou da compactação. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de quantificar as alterações estruturais em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) cultivado com *Coastcross*. Para isso, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo (0,025 m de altura e 0,064 m de diâmetro), nas profundidades de 0-0,05 m e 0,20-0,25 m e no horizonte Bw (0,80-0,85 m) e foram realizadas as análises de intervalo hídrico ótimo (IHO), capacidade de suporte de carga (CSC), carbono orgânico do solo (COS) e quantificada a produção de forragem. O estudo foi conduzido em três artigos. No primeiro artigo, fez-se a avaliação temporal do intervalo hídrico ótimo do LVA degradado, sob campo de produção de feno, utilizando este indicador para avaliar as alterações estruturais, durante o ciclo produtivo de 2008/2009, em área mantida sem tráfego de máquinas. No segundo artigo, monitoraram-se os níveis de degradação estrutural de LVA em campo de feno de *Coastcross* (*Cynodon* spp.), no ano de 2009/2010, por meio de modelos de IHO e CSC construídos no ano de 2008/2009. No terceiro artigo, avaliaram-se as possíveis melhorias estruturais em LVA, promovidas por gramínea perene, *Coastcross* (*Cynodon* spp.), assim como seus efeitos no IHO, CSC, COS e produção de forragem, durante o ano de 2009/2010, em áreas com e sem tráfego de máquinas. Os indicadores de qualidade estrutural do solo revelaram-se eficientes, apresentando menor limite de quantificação e potencial de predição das possíveis alterações na estrutura e atributos físico-hídricos, resultantes do crescimento e renovação do sistema radicular ou da compactação devido ao tráfego de máquinas. Os resultados apontam os efeitos benéficos da utilização do *Coastcross* para a melhoria dos atributos físico-hídricos do Latossolo degradado fisicamente, principalmente no aumento da disponibilidade hídrica, na diminuição da resistência do solo à penetração de raízes e no aumento da aeração, com consequente aumento do teor de COS e da produção de forragem.

Palavras-chave: Intervalo hídrico ótimo. Capacidade de suporte de carga. Conservação do solo e água. Qualidade física do solo.

ABSTRACT

Latosols are an important component of tropical environment, due to their role on aquifer recharge. They represent the main order of soils used for crop and pasture in Brazil. However, sustainability of the environment and productive systems, especially related to Latosols, can be affected by the intensive use for crop or pasture, because it drastically reduces pore space, leading to degradation and erosion. Perennial grasses can help to improve and keep the structural quality of these soils, since they cover the surface and help on formation and stabilization of aggregates, and their root system can also attenuate dense or compacted layers. The objective of this study was to quantify structural changes in a Red-Yellow Latosol (Oxisol), cultivated with *Coastcross*. Thereunto, we collected disturbed and undisturbed soil samples (0.025 m height and 0.065 m diameter), at depths of 0-0.05 m and 0.20-0.25 m, and the Bo horizon (0.80-0.85 m), and determined the least limiting water range (LLWR), load support capacity (LSC), soil organic carbon (SOC), and forage production. This study was done in three chapters. The first chapter assessed the temporal behavior of the least limiting water range in a degraded Latosol, in a hay production field, as an indicator of structural changes, during the production cycle of 2008/2009, with no machine traffic in the area. The second chapter, monitored the level of degradation of soil structure in the hay field of *Coastcross* (*Cynodon* spp.), in the year 2009/2010, by LLWR and LSC models. The third chapter, assessed the improvements on soil structure, caused by perennial grass, *Coastcross* (*Cynodon* spp.), and their effects on the LLWR, LSC, SOC, and forage production, during the year 2009/2010, in areas with and without machine traffic. Both the improvement of soil structural quality, caused by growth and renewal of the root system, or decline of quality, caused by machinery traffic, could be assessed by changes in structure and hydro-physical attributes. The results show the beneficial effects of the use of *Coastcross* to improve the structure of this physically degraded Latosol, especially increasing water availability, decreasing soil resistance to root penetration, and increasing aeration, leading to increases on SOC and forage production.

Keywords: Least limiting water range. Load support capacity. Conservation of soil and water. Soil physical quality.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE.....	12
QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO.....	12
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Alterações estruturais em solos cultivados	14
2.2 Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo do solo.....	16
2.3 Qualidade estrutural e capacidade de suporte de carga do solo	19
2.4 Gramíneas perenes, microrganismos e estruturação do solo	21
REFERÊNCIAS.....	24
SEGUNDA PARTE.....	34
ARTIGO 1.....	34
Avaliação temporal do intervalo hídrico ótimo em um Latossolo sob campo de produção de feno	35
ARTIGO 2.....	57
Níveis de degradação estrutural de Latossolo em campo de feno de <i>Coastcross</i> (<i>Cynodon</i> spp.).....	58
ARTIGO 3.....	82
Melhoria estrutural de Latossolo: cultivo de gramínea perene e seus efeitos em IHO, σ_p, COS e produção de forragem.....	83

PRIMEIRA PARTE

QUALIDADE ESTRUTURAL DO SOLO

1 INTRODUÇÃO GERAL

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola no mundo, especialmente nos países tropicais em desenvolvimento, despertou, nas últimas décadas, a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade do ambiente (LAL; PIERCE, 1991). Interesse na qualidade do solo cresce com base na preocupação de que este é um componente crítico da biosfera terrestre, funcionando tanto na produção de alimentos, fibras e agroenergia, como na manutenção dos ecossistemas (DORAN; PARKIN, 1994).

No Brasil, a principal ordem de solos é a dos Latossolos, que perfazem, aproximadamente, 65% da área territorial (CAMARGO; KLAMT; KAUFFMAN, 1987; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). Os Latossolos desempenham no ambiente a importante função de recarga de aquíferos e, concomitantemente, esta é a principal ordem de solos sob uso agrícola no país. Sob condições naturais, estes solos apresentam restrições químicas ligadas à baixa fertilidade e à elevada toxidez por alumínio (SOUZA; LOBATO, 2004). Por outro lado, os atributos físicos, aliados à topografia suavizada onde estão inseridos (RESK; PEREIRA; SILVA, 1991), os tornam potencialmente aptos para a exploração agrícola.

No entanto, a sustentabilidade ambiental e dos sistemas produtivos pode ser ameaçada, principalmente para Latossolos que, quando incorporados aos sistemas produtivos, podem ter seu espaço poroso drasticamente reduzido, conduzindo à degradação e a processos erosivos (OLIVEIRA et al., 2004; RESCK et al., 2000). A degradação das pastagens é o principal fator que compromete a sustentabilidade da produção animal no Brasil (MACEDO, 2009) e a compactação, devido ao tráfego de máquinas agrícolas, cada vez maiores e

mais pesadas, é a principal responsável pela redução na produtividade das culturas (DIAS JÚNIOR, 2000).

Vários são os problemas decorrentes da degradação dos solos. Entre eles, destaca-se o impacto adverso no ambiente, com aumento da perda de solo e redução da qualidade da água, biodiversidade e, conseqüentemente, da capacidade produtiva.

Por meio de investimentos crescentes em ciência e tecnologia, esforços vêm sendo direcionados para aumentar a eficiência dos sistemas agrícolas. Assim, há uma crescente necessidade de adoção de tecnologias que intensificam o uso da terra, tornando mais sustentável a atividade agropecuária pelo aumento da produtividade, em detrimento da abertura de novas áreas ou da degradação de solos.

Dessa forma, com este estudo, busca-se contribuir com os conhecimentos na área de ciência do solo sobre condições físico-hídricas adequadas para crescimento das plantas, capacidade de suporte de carga dos solos e estratégias de manejo para melhoria e manutenção da qualidade estrutural de Latossolos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Alterações estruturais em solos cultivados

A história de degradação e a conseqüente queda da produção do solo coincidem com a deterioração de sua estrutura (REZENDE, 1997). Diferentes sistemas de uso e manejo alteram a estrutura do solo, que por sua vez, interfere em uma série de atributos físicos, químicos e biológicos (FARIA et al., 1998; KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999; SINGH; MALHI, 2006).

A estrutura do solo, definida como sendo o arrançamento de partículas do solo e do espaço poroso entre elas, incluindo, ainda, a forma, o tamanho e o arrançamento dos agregados, formados pelas partículas primárias, que se agrupam em unidades com limites definidos (MARSHALL, 1962), constitui-se em um importante indicador da qualidade do solo. A formação de agregados, que são unidades básicas da construção da estrutura do solo, é o resultado da interação entre partículas minerais, cátions polivalentes, matéria orgânica, microrganismos, raízes das plantas vivas e fragmentos de plantas e de microrganismos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

O espaço poroso do solo resulta dos vazios formados entre partículas primárias ou agregados, podendo também ter origem biológica, consequência da atividade de plantas e microrganismos. Quanto à distribuição por tamanho dos poros, os Latossolos, geralmente, apresentam elevada porosidade drenável, mas também elevado volume de poros, com diâmetro equivalente extremamente pequeno (OLIVEIRA et al., 2004). Os poros pequenos fazem com que grande quantidade de água permaneça retida no solo com energia muito alta, o que a torna indisponível às plantas, particularmente nos solos mais argilosos (GIAROLA; SILVA; IMHOFF, 2002). Essa distribuição bimodal dos poros nos Latossolos faz com que neles a disponibilidade de água para as plantas seja baixa (CARDUCCI et al., 2011) e a susceptibilidade à compactação seja alta (AJAYI et al., 2009; SEVERIANO, 2010).

Diante disso, áreas mecanizadas, com uso indiscriminado de diferentes sistemas de manejo, e áreas de pastagens, onde não ocorrem preocupações com a estrutura, tornam-se mais susceptíveis à degradação do solo, a qual pode provocar impactos adversos ao ambiente de produção, destacando o processo de compactação do solo (DIAS JÚNIOR, 2000).

Em vista disso, melhorar e conservar a qualidade estrutural do solo em áreas cultivadas é de fundamental importância, quando se almejam maiores

produtividades e conservação ambiental (LIBARDI; FERNANDES, 2006; SECCO et al., 2005). O uso de indicadores de qualidade estrutural do solo tem sido sugerido para a quantificação das alterações nas propriedades físicas (DIAS JÚNIOR et al., 2007; HORN, 2003; IMHOFF, 2002; TORMENA et al., 2007).

Os conceitos de qualidade do solo mais difundidos são aqueles que destacam seu aspecto funcional, como proposto por Doran e Parkin (1994), que consideram a qualidade do solo a sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de animais e plantas. A qualidade física relaciona-se com a magnitude com que a matriz do solo resiste à deformação e com a sua capacidade de fornecer ar e água em proporções adequadas ao pleno desenvolvimento das plantas (SINGER; EWING, 2000).

Segundo Imhoff (2002), embora diversos atributos possam ser utilizados como indicadores de qualidade estrutural, há um consenso de que eles devem incluir atributos que influenciam diretamente a produção das culturas e aqueles que influenciam indiretamente, ao determinar variáveis do intervalo hídrico ótimo e da capacidade de suporte de carga do solo. Espera-se que o uso de vários atributos em torno de um único indicador permita a interpretação global das alterações estruturais do solo.

2.2 Qualidade estrutural e intervalo hídrico ótimo do solo

A retenção de água nos Latossolos é influenciada pelos atributos intrínsecos do solo, dentre os quais se destacam a textura, a estrutura e o conteúdo de carbono orgânico (DEXTER, 2004; GIAROLA; SILVA; IMHOFF, 2002; SEVERIANO, 2010). Em termos fitotécnicos, a faixa de água de interesse no solo corresponde ao intervalo entre a capacidade de campo e o e o ponto de murcha permanente, convencionalmente chamado de água disponível para as

plantas (OLIVEIRA et al., 2004). Este conceito, no entanto, não abrange aspectos dinâmicos predominantes no solo.

O conceito de um único índice mais representativo que descreve a amplitude hídrica do solo incorporando limitações ao desenvolvimento de plantas relacionadas à aeração, à resistência à penetração e ao conteúdo de água no solo foi inicialmente desenvolvido por Letey (1985) e identificado e quantificado por Silva, Kay e Perfect (1994) como *least limiting water range*, ou intervalo hídrico ótimo (IHO).

Em solos com qualidade física adequada, o IHO corresponde à água disponível (AD), sendo o limite superior do IHO equivalente à capacidade de campo e o inferior, equivalente ao ponto de murcha permanente (Figura 1A) (SILVA; TORMENA; IMHOFF, 2002). Entretanto, o IHO é diminuído quando a aeração substitui a capacidade de campo como seu limite superior e a resistência do solo à penetração substitui o ponto de murcha permanente como seu limite inferior (Figura 1B). A diminuição do IHO, de A para C, como representado na Figura 1, indica um processo de degradação da qualidade estrutural do solo, no que diz respeito ao crescimento das plantas (BEUTLER et al., 2004; LEÃO et al., 2006; TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998). O decréscimo do IHO pode ser induzido, por exemplo, pela compactação do solo, sendo o IHO o indicador mais sensível às alterações estruturais do que o parâmetro AD (SILVA; KAY; PERFECT, 1994).

A ideia de reunir em um único índice três fatores físicos que afetam diretamente a produtividade agrícola (água, ar e resistência à penetração do sistema radicular) (IMHOFF, 2002) representa um avanço no estudo da física do solo. Nesse sentido, Tormena et al. (2007) destacam que o IHO significa grande avanço nos estudos da biofísica do solo, sendo o indicador que melhor se correlaciona ao crescimento das plantas.

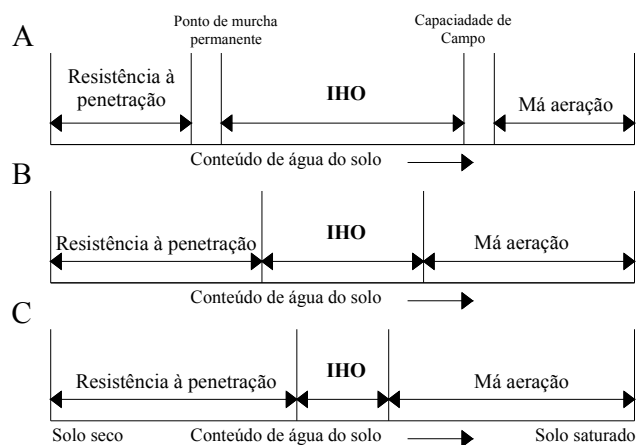


Figura 1 Relação entre o conteúdo de água e os fatores físicos do solo que limitam o crescimento das plantas. A deterioração estrutural e a redução na qualidade física do solo ocorrem de A para C
 Fonte: Adaptado de Silva, Tormena e Imhoff (2002)

A amplitude do IHO representa o risco de exposição das culturas às condições físicas inadequadas (SILVA; KAY, 1997). A quantificação do IHO exige a determinação dos limites superior e inferior de AD às plantas. O limite superior é determinado pelo conteúdo de água no solo referente à capacidade de campo (θ_{CC}) ou à porosidade de aeração (θ_{PA}), e o limite inferior, pelo conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou pelo conteúdo de água no solo abaixo do qual a resistência do solo à penetração passa a ser limitante ao desenvolvimento radicular (θ_{RP}). Silva, Nadler e Kay (2001) ressaltam que diferentes valores críticos podem ser utilizados sem alterar a aplicabilidade do conceito de IHO.

2.3 Qualidade estrutural e capacidade de suporte de carga do solo

A compactação do solo causa redução no rendimento das culturas, além de provocar danos ambientais, conduzindo à maior exposição do solo. Isso torna o solo mais susceptível aos agentes erosivos, com sua consequente desestruturação e perda da capacidade de absorção de água (OLIVEIRA et al., 2004), comprometendo a recarga de aquíferos.

A compactação tem sua origem na compressão do solo não saturado, durante a qual a densidade do solo sofre um incremento em decorrência da deformação, do rearranjo das partículas sólidas e do deslocamento do ar presente nos poros (GUPTA; HADAS; SHAFER, 1989). Reduções significativas ocorrem, principalmente, no volume dos poros drenáveis (HILLEL, 1982), podendo ou não ocorrer mudanças no volume dos poros extremamente pequenos (OLIVEIRA et al., 2003b).

A magnitude da compactação é agravada quando o tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas é realizado em condições inadequadas de umidade e as tensões aplicadas ao solo excedem a resistência mecânica, ultrapassando a capacidade de suporte de carga do solo, expressa pela pressão de preconsolidação (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1995; HORN; VOSSBRINK; BECKER, 2004; LEBERT; BÖKEN; GLANTE, 2007).

A facilidade com que o solo não saturado decresce em volume, quando sujeito à pressão, é chamada de compressibilidade (GUPTA; ALLMARAS, 1987). O comportamento compressivo do solo é função de fatores internos e externos. Entre os fatores externos relacionados ao manejo dos solos, destacam-se o tipo, a intensidade e a frequência da carga aplicada (CASTRO NETO, 2001). Os fatores internos estão relacionados com a história de tensão (DIAS JÚNIOR, 1994; GUPTA; HADAS; SHAFER, 1989), o conteúdo de água no

solo ou o potencial matricial (DIAS JÚNIOR, 1994; OLIVEIRA et al., 2003a), a textura, a estrutura e a densidade inicial do solo (DIAS JÚNIOR, 1994; GUPTA; HADAS; SHAFER, 1989; LARSON; GUPTA; USECHE, 1980; SILVA; DIAS JÚNIOR; LEITE, 2001).

A capacidade de suporte de carga é definida como a capacidade da estrutura do solo em resistir a tensões induzidas pelo tráfego de máquinas ou pisoteio animal, sem mudanças no arranjo tridimensional das partículas constituintes do solo (ALAKUKKU et al., 2003), em uma determinada umidade ou potencial matricial. Considerando esses aspectos, Dias Júnior (1994) desenvolveu o modelo de capacidade de suporte de carga que prediz a pressão máxima que o solo pode suportar para diferentes conteúdos de água no solo, sem causar compactação adicional, relacionando a pressão de preconsolidação e o conteúdo de água no solo.

A pressão de preconsolidação divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformação pequena, elástica e recuperável (curva de compressão secundária, indicando a presença de uma história de tensão do solo) e outra de deformação plástica e não recuperável (reta de compressão virgem). A pressão de preconsolidação é utilizada como indicador da capacidade de suporte de carga e da qualidade estrutural por diversos autores (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1995; OLIVEIRA et al., 2003b; PENG et al., 2004).

Dessa forma, para análise do risco de compactação, o estudo do comportamento compressivo dos solos agrícolas em condições não saturadas é necessário na predição do efeito da compactação devido ao tráfego sob condições inadequadas de umidade (SILVA; DIAS JÚNIOR; LEITE, 2001) e devido ao excessivo pisoteio do gado nas pastagens (KONDO; DIAS JÚNIOR, 1999).

2.4 Gramíneas perenes, microrganismos e estruturação do solo

A melhoria da estrutura do solo, promovida pelas raízes das gramíneas perenes e microrganismos (BLANCHART et al., 2004; BRADFIELD, 1937; JASTROW; MILLER; LUSSENHOP, 1998; SEVERIANO et al., 2010; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), constitui alternativa para o controle da compactação superficial e da qualidade física e estrutural do solo.

Do ponto de vista físico, o uso de plantas que contribuem para a melhoria da estrutura do solo, como técnica de manejo, propicia a formação de bioporos com ampla variação de tamanho, que funcionam como rotas alternativas para o crescimento das raízes (WILLIAMS; WEIL, 2004) e aumentam o movimento de água e a difusão de gases no solo (MÜLLER; CECCON; ROSOLEM, 2001). Tais plantas apresentam potencial de redução do impedimento mecânico, além de contribuírem para a melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A rede de bioporos criada pela atividade de plantas e microrganismos acumula-se favoravelmente em sistemas de cultivo sem revolvimento; por outro lado, estes são os mais afetados durante o processo de compactação do solo (LIMA et al., 2005). Os bioporos tendem a ser bem conectados com a superfície do solo (WUEST, 2001). Estudos realizados em área sob plantio direto mostraram que os bioporos, apesar de representarem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e reduzem a resistência do solo à penetração das raízes (GENRO JÚNIOR; REINERT; REICHERT, 2004).

A incorporação de gramíneas perenes nos sistemas de cultivo resulta em benefícios, decorrentes, principalmente, da produção de fitomassa, do acúmulo e

da posterior liberação de nutrientes pela decomposição (BOER et al., 2007; ESPÍNDOLA et al., 2006; GIACOMINI et al., 2003). Além destes benefícios, verifica-se também, em relação às propriedades físicas do solo, influência na infiltração e movimentação de água, na transferência de calor e na aeração (LETEY, 1985).

As práticas de manejo do solo interferem diretamente na formação dos agregados do solo e, conseqüentemente, na estrutura, por influenciarem a dinâmica da matéria orgânica (ZANATTA et al., 2007), a atividade dos microrganismos e o desenvolvimento das raízes das plantas (LI et al., 2006). A adoção de práticas conservacionistas baseadas no revolvimento mínimo, no correto manejo de resíduos e na inclusão de gramíneas perenes na rotação de culturas pode prevenir a degradação da matéria orgânica (BAYER et al., 2006), além de manter e recuperar a estrutura do solo (HAYNES; BEARE, 1996).

O melhoramento de plantas forrageiras, aumentou a capacidade de exploração de um maior volume do solo e a eficiência de uso dos nutrientes, proporcionando maiores benefícios na melhoria estrutural do solo, devido à alta densidade e à periódica renovação radicular. Entretanto ainda não são encontrados, na literatura, resultados conclusivos sobre a taxa de morte e renovação das raízes e do período do ano em que esta ocorre. A liberação de exsudatos na rizosfera também contribui para a melhoria estrutural do solo. Essas substâncias estimulam a atividade microbiana, conduzindo à formação e à estabilização dos agregados do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Os principais microrganismos envolvidos no processo de agregação do solo são fungos rizosféricos, por meio de suas hifas (SCHJØNNING et al., 2007), os quais contribuem, principalmente, para agrupar microagregados na estrutura de agregados maiores. Em outro processo, também muito importante para a estruturação do solo, fragmentos de plantas em decomposição e colônias

de bactérias formam agregados, por meio da interação dos polissacarídeos extracelulares (GOLCHIN; BALDOCK; OADES, 1998).

Entre as gramíneas perenes, destacam-se as do gênero *Cynodon* spp. Estas plantas apresentam, como características, hastes grandes dotadas de folhas finas, de cor verde-escura e rizomas bem desenvolvidos, além de uma boa relação folha-colmo, conferindo-lhe um bom valor nutritivo (SOARES FILHO; RODRIGUES; PERRI, 2002). Trata-se de forrageiras com grande velocidade de resposta a fatores químicos do solo, graças à alta densidade do seu sistema radicular.

Vários sistemas têm utilizado gramíneas perenes como condicionadoras do solo. Pesquisas apontam para avanços nesse sentido, principalmente no manejo de gramíneas perenes na entrelinha de cultivos perenes, a exemplo de sistema conservacionista e de manejo intensivo do cafeeiro na região do alto São Francisco (SERAFIM, 2011), e na utilização destas em consórcio, sucessão ou rotação de culturas, nos sistemas de integração lavoura pecuária (MACEDO, 2009).

Apesar de terem sido realizados estudos envolvendo a caracterização e o monitoramento físico-hídrico dos solos sob diferentes gramíneas perenes (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000; LEÃO et al., 2004; LIMA et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2009), ainda não foi elucidado o potencial, dessas plantas, para romper barreiras de impedimento mecânico impostas em solos compactados ou adensados, bem como os seus efeitos sobre a produtividade.

REFERÊNCIAS

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

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

BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 217-226, Dec. 2006.

BEUTLER, A. N. et al. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 575-583, jun. 2004.

BLANCHART, E. et al. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 343-355, July 2004.

BOER, C. A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, set. 2007.

BRADFIELD, R. Soil conservation from viewpoint of soil physics. **Agronomy Journal**, Madison, v. 29, n. 2, p. 85-92, 1937.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

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

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo Van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 77-86, jan./fev. 2011.

CASTRO NETO, P. **Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas**. 2001. 155 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DEXTER, A. R. Soil physical quality part I: theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, n. 1, p. 201-214, Sept. 2004.

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

_____. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing, 1994.

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

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

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 3-21.

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

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.

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

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 477-484, maio/jun. 2004.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 325-334, mar./abr. 2003.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 885-893, out./dez. 2002.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: LAL, R. et al. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC, 1998. p. 245-266.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v. 6, n. 1, p. 65-100, Jan. 1987.

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

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Aggregation and organic matter storage in meso-thermal, humid soils. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Ed.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC, 1996. p. 213-262.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic, 1982. 364 p.

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

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

IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos**. 2002. 94 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

IMHOFF, S. D. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, jul. 2000.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M.; LUSSENHOP, J. Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 30, n. 7, p. 905-916, July 1998.

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

LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

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

LEÃO, T. P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 415-423, maio/jun. 2004.

_____. Least limiting water range: a potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 88, n. 1/2, p. 279-285, July 2006.

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, n. 1, p. 277-294, 1985.

LI, L. et al. Root distribution and interactions between intercropped species. **Oecologia**, Adelaide, v. 147, n. 2, p. 280-290, Mar. 2006.

LIBARDI, P. L.; FERNANDES, F. C. S. Avaliação da qualidade do solo a partir de indicadores físico-hídricos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA: NOVOS DESAFIOS DO CARBONO O MANEJO CONSERVACIONISTA, 16., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBCS, 2006. 1 CD-ROM.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 945-951, nov./dez. 2004.

LIMA, H. V. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 677-684, set./out. 2005.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, p. 133-146, jul. 2009. Número especial.

MAGALHÃES, E. N. et al. Recuperação estrutural e produção do capim-Tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 1, p. 68-76, jan./mar. 2009.

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

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 3, p. 531-538, maio/jun. 2001.

OLIVEIRA, G. C. et al. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003a.

_____. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 327-336, mar./abr. 2004.

_____. Compressibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso de acordo com a tensão de água no solo, uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 773-781, set. 2003b.

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

RESCK, D. V. S. et al. Impact of conversion of Brazilian Cerrados to cropland and pastureland on soil carbon: pool and dynamics. In: LAO, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (Org.). **Global climate change and tropical ecosystems**. London: CRC, 2000. p. 169-197.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1991. 22 p.

REZENDE, J. O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1997. 1 CD-ROM.

SCHJØNNING, P. et al. Organic matter and soil tilth in arable farming: management makes a difference within 5-6 years. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 2, p. 157-172, Oct. 2007.

SECCO, D. et al. Parâmetros de compressibilidade de um Latossolo influenciados pelo estado inicial de compactação e grau de saturação em água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: SOLOS, SUSTENTABILIDADE E QUALIDADE ESTRUTURAL, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCE, 2005. 1 CD-ROM.

SERAFIM, M. E. **Sistema conservacionista e de manejo intensivo na melhoria de atributos do solo para a cultura do cafeeiro**. 2011. 119 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

SEVERIANO, E. C. **Alterações estruturais de Latossolos representativos da região do cerrado e potencial de uso de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 148 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SEVERIANO, E. C. et al. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, jan. 2010.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 3, p. 877-883, May 1997.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, Nov./Dec. 1994.

SILVA, A. P.; NADLER, A.; KAY, B. D. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 58, n. 3/4, p. 207-218, Mar. 2001.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. (Coord.). **Qualidade física do solo: métodos de estudo, sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: FUNEP, 2002. p. 1-20.

SILVA, A. R.; DIAS JÚNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 89-93, jan. 2007.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 2, p. 311-317, mar./abr. 1997.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. p. 271-298.

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

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**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1377-1384, 2002.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

TORMENA, C. A. et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 211-219, mar./abr. 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**, Viçosa, MG, v. 22, n. 4, p. 573-581, out./dez. 1998.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 213-223, jan./fev. 2011.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 4, p. 1403-1409, 2004.

WUEST, S. B. Soil biopore estimation: effects of tillage, nitrogen, and photographic resolution. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3/4, p. 111-116, Nov. 2001.

ZANATTA, J. A. et al. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 510-519, June 2007.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO EM
UM LATOSSOLO SOB CAMPO DE PRODUÇÃO DE FENO**

Normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (versão preliminar)

Avaliação temporal do intervalo hídrico ótimo em um Latossolo sob campo de produção de feno

RESUMO

As pastagens de gramíneas, quando bem formadas e manejadas, representam um componente ambiental importante pelo papel que exercem na cobertura dos solos, na formação e na estabilização dos agregados e na redução do adensamento ou da compactação. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de quantificar o intervalo hídrico ótimo (IHO), durante o período chuvoso do ano, para o Latossolo Vermelho-Amarelo degradado fisicamente e cultivado com *Coastcross*, e utilizar o IHO como indicador potencial de alteração da estrutura deste solo. As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 0,025 m de altura e 0,064 m de diâmetro, nas profundidades de 0-0,05 m e 0,20-0,25 m e no horizonte Bw (0,80-0,85 m), na ausência de tráfego de máquinas agrícolas, durante a estação chuvosa de 2008/2009, nos meses de nov/08, mar/09 e maio/09. Essas amostras foram utilizadas para determinar a curva de retenção de água, a curva de resistência à penetração, a densidade, o IHO e a densidade crítica do solo (Dsc). A variação temporal do IHO é dependente da alteração da densidade do solo. A Dsc de $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ é limitante ao adequado desenvolvimento da forrageira no solo em estudo. A melhoria da estrutura do solo é constatada pelo aumento do IHO nas duas camadas mais superficiais, em comparação com o horizonte Bw.

Termos de indexação: qualidade estrutural do solo, disponibilidade hídrica do solo, resistência do solo à penetração.

Temporal analysis of the least limiting water range in a Latosol under hay production field

SUMMARY

Well-formed and managed grass pasture, represent an important environmental component due to soil covering, formation and stabilization of aggregates, and attenuation of dense or compacted layers. The objective of this study was to quantify the least limiting water range (LLWR) of a physically degraded Red-Yellow Latosol (Oxisol), cultivated with *Coastcross*, and to evaluate if this attribute can be used as a potential indicator of improvement of soil structural quality. Undisturbed samples were collected using volumetric rings (0.025 m height and 0.065 m diameter) at 0-0.05, 0.20-0.25 and 0.80-0.85 m (Bo horizon) depths, in areas without machine traffic, during the 2008/2009 rainy season, in Nov/08, Mar/09 and May/09. These samples were used for determining the water retention curve, the penetration resistance curve, the bulk density, the LLWR, and the soil critical density. The temporal changes of LLWR are dependent of changes of bulk density. Growing of grass root system was restricted when bulk density was above 1.24 g cm^{-3} . The improvement of soil structural quality was related to a larger LLWR for the two surficial layers.

Keywords: soil structural quality, soil water availability, soil resistance to penetration.

1 INTRODUÇÃO

A boa qualidade das forrageiras conservadas contribui para um manejo animal equilibrado, com suprimento de nutrientes e com maior estabilidade durante todo o ano. Dentre os processos de conservação de forrageiras, se destaca a fenação, na qual se utiliza de mecanização intensiva em todas as etapas de produção (Giarola et al., 2007). Apesar dessa vantagem, existem limitações relacionadas à compactação superficial do solo, originada do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas. A compactação do solo modifica a quantidade, a continuidade e o tamanho dos poros (Richard et al., 2001; Klein & Libardi, 2002; Oliveira et al., 2004), com reflexos na sua qualidade física para crescimento e produtividade das plantas (Tormena et al., 2007).

A melhoria da estrutura do solo promovida pelas gramíneas perenes (Magalhães et al., 2009; Severiano et al., 2010) constitui uma alternativa para o controle da compactação superficial e da qualidade física e estrutural do solo. O uso de plantas que atuam nesse sentido constitui uma importante estratégia de manejo em sistemas intensivos de produção (Jimenez et al., 2008), sendo a alta densidade e a periódica renovação das raízes de gramíneas alguns dos fundamentos para a qualidade e a sustentabilidade da produção (Silva & Mielniczuk, 1997).

Do ponto de vista físico, o uso de plantas que contribuem para a melhoria da estrutura do solo, como técnica de manejo, propicia a formação de bioporos com ampla variação de tamanho. Estes bioporos funcionam como rotas alternativas para o crescimento de raízes das gerações seguintes (Williams & Weil, 2004), e aumentam o movimento de água e a difusão de gases no solo (Müller et al., 2001). Tais plantas apresentam potencial de reduzir o impedimento mecânico, além de contribuir para a melhoria do estado de agregação do solo (Camargo & Alleoni, 1997).

Condições físicas restritivas ao bom desenvolvimento das plantas reduzem a capacidade produtiva dos solos e a sustentabilidade ambiental. As complexas interações entre resistência do solo à penetração (RP), aeração e disponibilidade de água afetam diretamente o desenvolvimento das plantas. Buscando integrar as principais propriedades físicas do solo determinantes do crescimento das plantas, Silva et al. (1994) propuseram o intervalo hídrico ótimo (IHO), com base nos pressupostos de Letey (1985), como um índice para avaliar a qualidade física do solo. A diminuição da amplitude do IHO indica o aumento da exposição das culturas ao estresse físico do solo e a magnitude na qual a condição estrutural restringe o desenvolvimento das plantas (Silva et al., 1997). Em solos com reduzido IHO, as variações espaciais e temporais do conteúdo de água podem predispor as culturas a estresses físicos, seja pela aeração deficiente em condições de solo muito úmido, ou excessivo aumento da RP por ocasião do secamento do solo (Bengough et al., 2006).

Assim, o IHO representa ganhos em termos de biofísica do solo, sendo um indicador que reflete adequadamente a qualidade física do solo para as plantas (Tormena et al., 2007). Em várias pesquisas realizadas em diferentes solos, culturas e sistemas de manejo foi comprovada a pertinência da aplicação do IHO na avaliação da qualidade física do solo (Silva et al., 1994; Tormena et al., 1999; Imhoff et al., 2001; Wu et al., 2003; Leão et al., 2006; Kaiser et al., 2009; Lima et al., 2009; Severiano et al., 2010; Medeiros et al., 2001).

No IHO, a faixa ótima de conteúdo de água do solo para o crescimento das plantas depende da densidade do solo (D_s) (Leão et al., 2005). Para cada valor de D_s , um valor de IHO é calculado e definido, a partir dos limites, superior e inferior, de água no solo. Geralmente, o aumento de D_s resulta em redução do IHO, em direção a valores de D_s em que o IHO se iguala a zero. A D_s em que $IHO = 0$ é denominada de densidade crítica do solo (D_{sc}) (Silva et al., 1994; Imhoff et al., 2001). Quando $D_s > D_{sc}$, há indicações de acentuada

degradação estrutural do solo, restringindo o crescimento das plantas. Os valores de Dsc variam em função do nível de compactação e da textura (Wu et al., 2003; Reichert et al., 2009), além da estrutura do solo. Potencialmente, sistemas de manejo que propiciam maior frequência de $D_s < D_{sc}$ oferecem menores restrições físicas às plantas.

Estudos sobre o potencial das raízes de gramíneas de alterar a qualidade física e estrutural do solo não são frequentes na literatura. No estágio atual de evolução dos sistemas agrícolas, em que se busca aprimorar a sua qualidade, é necessário conhecer as alterações impostas ao ambiente físico do solo pelo crescimento e a renovação do sistema radicular. Assim, este estudo foi realizado com o objetivo de quantificar o IHO em diferentes profundidades e durante o período chuvoso do ano, para o Latossolo Vermelho-Amarelo degradado fisicamente e cultivado com *Coastcross* (*Cynodon* spp.) e utilizar o IHO como indicador potencial de alteração da estrutura deste solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental está localizada no sítio Cata-Vento, no município de Itutinga, MG, na região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos. A área do reservatório abrange os municípios de São João Del Rei, Itutinga, Nazareno, Carrancas, Madre de Deus de Minas, São Vicente de Minas, Andrelândia e Minduri, perfazendo um total de 2.084,4 km². O clima local é classificado, segundo Köppen, como Cwa, de verão brando e chuvoso, com temperaturas moderadas, média anual de 21° C. A precipitação média anual é de 1.500 mm, concentrada durante os meses de novembro a março, e a média anual de umidade relativa do ar é de 70%.

O estudo foi desenvolvido em área de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) textura muito argilosa, fisicamente degradado. Esse solo é bastante

representativo da zona fisiográfica Campos das Vertentes e apresenta alto potencial para a utilização agrícola (Chagas et al., 1997). A análise granulométrica da profundidade de 0-0,05 m apresentou valores médios de 630, 240 e 130 g kg⁻¹; da profundidade de 0,20-0,25 m, 670, 210 e 120 g kg⁻¹ e da profundidade de 0,80-0,85 m, 710, 190 e 100 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

O experimento foi implantado em parte da área de 9 ha cultivada com *Coastcross* (*Cynodon* spp.), visando à produção de feno. Na média, ocorrem doze operações de tráfego mecanizado, durante as etapas produtivas de corte, revolvimento, enfardamento e transporte. Estas operações são multiplicadas por quatro, quando se consideram os sucessivos cortes durante a estação chuvosa do ano. A área está sob este manejo há aproximadamente oito anos. O experimento foi conduzido na ausência de tráfego de máquinas agrícolas, durante três ciclos produtivos do ano de 2008/2009. As correções das deficiências nutricionais, nesta área, foi realizada com a aplicação de 121 kg ha⁻¹ de N, 42 kg ha⁻¹ de P, e 117 kg ha⁻¹ de K.

A coleta de amostras indeformadas (0,064 m de diâmetro por 0,025 m de altura) do solo foi realizada em um delineamento inteiramente casualizado, na posição entre plantas, nos meses de novembro de 2008 (nov/08), março de 2009 (mar/09) e maio de 2009 (maio/09). Foram coletadas amostras nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m (15 amostras x 2 profundidades x 3 períodos = 90 amostras) e na profundidade de 0,80-0,85 m, correspondente ao horizonte Bw (15 amostras x 1 profundidade x 1 período = 15 amostras), totalizando 105 amostras. As profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m foram selecionadas com base no diagnóstico visual por ocasião da descrição morfológica (Anexo 1); a profundidade de 0,80-0,85 m, correspondente ao horizonte Bw, foi escolhida como referencial de estrutura preservada, tendo em vista a inexistência de área com o mesmo solo sob vegetação natural nas

proximidades. Após coletadas, estas amostras foram envoltas em plástico filme, parafinadas e acondicionadas em sacos plásticos, sob temperatura de aproximadamente 25 °C, até serem processadas no laboratório.

As amostras foram devidamente preparadas e saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água. Para a determinação da curva de retenção de água (CRA), as amostras foram divididas em 5 grupos de 21 amostras, sendo três repetições em cada potencial de água avaliado. Foram utilizados os seguintes potenciais matriciais: 0, obtido a partir do volume total de poros; -6 kPa, na unidade de sucção; -33, -100 e -1.500 kPa, nas membranas extratoras de Richards (Embrapa, 1997) e o valor inferior a -1.500, até o limite de -60.000 kPa, no psicrômetro de termopar (WP4-T). Após atingir o equilíbrio hídrico em cada potencial, as amostras foram pesadas e submetidas ao teste de RP, utilizando-se o penetrógrafo eletrônico de bancada, conforme Tormena et al. (1998). Após determinação da RP, as amostras foram secas em estufa, a 105 °C, por 24 horas, para a determinação da Ds e do conteúdo de água do solo (θ). A macroporosidade foi calculada pela diferença entre VTP = $(1 - D_s/D_p)$ e microporosidade (correspondente ao conteúdo de água retida na tensão de -6 kPa), segundo metodologia descrita por Embrapa (1997).

Na determinação do IHO, foram consideradas a CRA e a curva de resistência do solo à penetração (CRS). A CRA foi obtida ajustando-se o θ em função do potencial matricial da água no solo (Ψ_m), utilizando-se a equação 1 e o procedimento de van Genuchten (1980):

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha \Psi_m)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (1)$$

sendo Ψ_m o potencial matricial da água no solo (kPa); θ , o conteúdo de água ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$); θ_{sat} , o conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$); θ_{res} , o conteúdo de água

no ponto de murcha permanente ($m^3 m^{-3}$) e m , n e α , os parâmetros de ajuste do modelo.

A CRS foi ajustada a modelos não lineares, em função do θ , utilizando-se a equação 2 e o software Sigma Plot 10.0 (2006):

$$RP = a + b.e^{(c.Ds)} \quad (2)$$

sendo RP a resistência à penetração (kPa); a , b e c os parâmetros de ajuste da equação e θ , o conteúdo volumétrico de água ($m^3 m^{-3}$).

O IHO foi determinado adotando-se os procedimentos descritos em Silva et al. (1994) e Tormena et al. (1998). Os valores críticos de conteúdo de água do solo associados com o potencial mátrico, a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração foram, respectivamente: a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) ou conteúdo de água estimado no potencial de -6 kPa; a umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), ou conteúdo de água no potencial de -1.500 kPa, e o conteúdo de água do solo em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 m^3 m^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968). Para a determinação da RP, foi adotado o valor crítico de 2.500 kPa, com base nos resultados de Camargo & Alleoni (1997). Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos nos potenciais de -6 e -1.500 kPa, utilizando a CRA e os valores do teor de água em que a RP (θ_{RP}) atinge o valor crítico de 2.500 kPa foram obtidos por meio da CRS. O valor de θ_{PA} foi obtido pela expressão $[(1 - Ds/Dp) - 0,1]$. O valor médio de densidade de partículas foi determinado nas amostras, conforme Embrapa (1997), $Dp = 2,50 g cm^{-3}$, para a profundidade de 0-0,05 e 0,20-0,25 m; $Dp = 2,66 g cm^{-3}$, para o horizonte Bw (0,80-0,85 m).

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura.

Como limites inferiores, foi considerado o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

Posteriormente, foram coletadas amostras indeformadas nos meses de agosto de 2009 (ago/09) e fevereiro de 2010 (fev/10), para a determinação da D_s e da macroporosidade, segundo metodologia descrita por Embrapa (1997).

A distribuição dos dados de D_s e macroporosidade no modelo de distribuição normal foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, utilizando-se o programa estatístico Sisvar, conforme Ferreira (2005). A análise de variância dos dados foi realizada utilizando-se o modelo de delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). Os ajustes das equações das CRA e CRS foram realizados pelo método de regressão não linear, utilizando-se o software Sigma Plot 10.0 (2006). A comparação entre os limites superior e inferior do IHO foi realizada por meio das análises do erro padrão da média.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação realizada durante o mês de nov/08, verificou-se que a cobertura vegetal estava descontínua, com reboleiras de plantas mal desenvolvidas e amareladas. Verificou-se também a presença de encrostamento na superfície do solo. O histórico de pressões aplicadas ao solo durante oito anos de manejo impôs alterações estruturais nos primeiros 0,40 m, deixando a estrutura pouco porosa, diferente da estrutura do horizonte Bw, que se manteve inalterada, tendo aspecto maciço poroso (Anexo 1). Estes aspectos corroboram os dados de Giarola et al. (2007).

As plantas se desenvolveram satisfatoriamente não área sem tráfego de máquinas e implementos agrícolas, em condições adequadas de suprimento de água e nutrientes no solo, provenientes do manejo controlado e das adubações realizadas no período de chuva. Na avaliação temporal da Ds e da macroporosidade ao longo deste período, observaram-se valores menores de Ds e maiores de macroporosidade, estatisticamente diferenciados, para estes atributos no mês de maio/09, em comparação a nov/08 e a mar/09, independentemente da profundidade, indicando a ocorrência de alívio na estrutura do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de densidade do solo (g cm^{-3}), nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, em comparação ao horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo sob *Coastcross*, no período chuvoso de 2008/2009.

Profundidade	Mês	Ds ⁽¹⁾ (g cm^{-3})	Macroporosidade ⁽²⁾ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
0-0,05m	Nov/08	1,22d ($\pm 0,013$)	0,06c ($\pm 0,004$)
	Mar/09	1,17c ($\pm 0,006$)	0,07c ($\pm 0,009$)
	Maio/09	1,06b ($\pm 0,014$)	0,16b ($\pm 0,013$)
Bw		0,97a ($\pm 0,014$)	0,21a ($\pm 0,017$)
CV(%)		4,32	16,47
0,20-0,25m	Nov/08	1,16c ($\pm 0,021$)	0,12c ($\pm 0,007$)
	Mar/09	1,15c ($\pm 0,013$)	0,12c ($\pm 0,012$)
	Maio/09	1,09b ($\pm 0,012$)	0,16b ($\pm 0,009$)
Bw		0,97a ($\pm 0,014$)	0,21a ($\pm 0,017$)
CV(%)		5,51	13,62

Médias seguidas da mesma letra na coluna e dentro de cada profundidade não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Média de 15 repetições. ⁽²⁾ Média de 3 repetições.

Os valores de D_s e de macroporosidade no mês de maio/09, nas duas primeiras profundidades, se aproximaram da D_s e da macroporosidade do horizonte Bw, que apresenta estrutura preservada. Isto pode ser atribuído ao potencial de melhoria da estrutura do solo por capins do gênero *Cynodon* (Magalhães et al., 2009). Dessa forma, acredita-se que o período para esta melhoria está associado à alta densidade do sistema radicular dessas gramíneas, ao tempo necessário para a morte e a renovação deste sistema radicular e à atividade de microrganismos no solo associados ao processo, além da ciclagem de nutrientes.

Avaliando-se a D_s nos meses de ago/09 e fev/10, observaram-se valores médios de 1,06 e 1,07 g cm⁻³, na profundidade de 0-0,05 m e de 1,11 e 1,13 g cm⁻³, na profundidade de 0,20-0,25 m, respectivamente. Avaliando-se a macroporosidade do solo, nos mesmos meses, observam-se valores médios de 0,17 e 0,16 m³ m⁻³, na profundidade de 0-0,05 m e de 0,15 e 0,14 m³ m⁻³, na profundidade de 0,20-0,25 m, respectivamente. Estes valores não se diferenciaram estatisticamente daqueles encontrados no mês de maio/09, nestas duas profundidades, indicando que a condição estrutural manteve-se estabilizada.

Verificou-se que a variação temporal do IHO nos meses de nov/08, mar/09 e maio/09 foi dependente da variação da D_s (Figura 1). Observa-se que, com aumentos na D_s do solo estudado, os valores do θ_{CC} , θ_{PMP} e θ_{RP} aumentaram e os valores do θ_{PA} reduziram. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (1994), Leão et al. (2006) e Tormena et al. (2007), estudando solos de diferentes mineralogias e texturas.

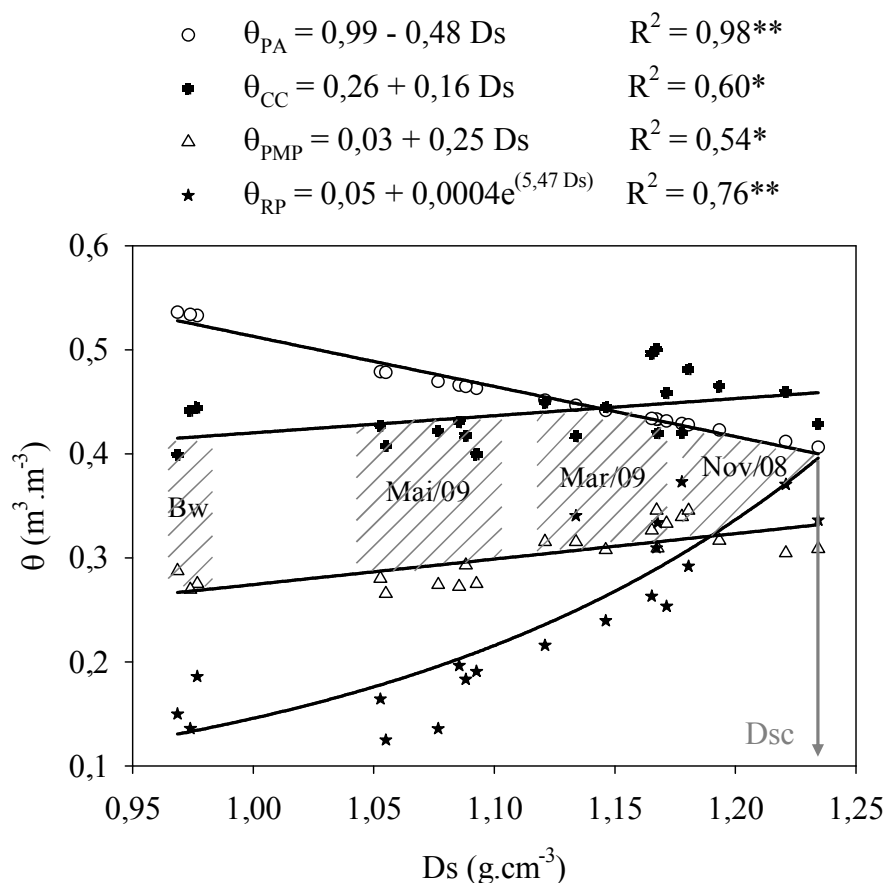


Figura 1. Variação do intervalo hídrico ótimo (área hachurada) do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com *Coastcross* para fenação, nas profundidades de 0-0,05 m e 0,20-0,25 m, para os meses de nov/08, mar/09 e maio/09, e horizonte Bw, em função de mudanças do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de 0,10 $m^3 m^{-3}$ (θ_{PA}), resistência do solo à penetração de 2500 kPa (θ_{RP}) e alterações na densidade do solo. Densidade do solo crítica (Dsc).

O θ_{RP} apresentou-se como limite inferior do IHO (Figura 1) nas profundidades estudadas do solo onde foram observadas restrições ao crescimento das raízes, a exemplo do que foi encontrado por Tormena et al. (1998). Para o solo em estudo, isso ocorre para valores de D_s acima de $1,18 \text{ g cm}^{-3}$, em que o θ_{RP} manteve-se acima do θ_{PMP} (Figura 1). Assim, o θ_{RP} pode ser um indicativo do grau de compactação ou adensamento daquela profundidade do solo, uma vez que ocorre aumento da RP com o aumento da D_s , aliado ao aumento da coesão causado pela ação da umidade do solo entre as partículas que ficam mais próximas, à medida que o solo é compactado ou adensado (Tormena et al., 2007).

Na avaliação do limite superior do IHO observou-se aumento da D_s com decréscimo do θ_{PA} (Figura 1). O valor do θ_{PA} manteve-se acima do θ_{CC} para valores de D_s de até $1,14 \text{ g cm}^{-3}$. Para valores de $D_s > 1,14 \text{ g cm}^{-3}$, observou-se redução do volume de macroporos, salientando-se que estes são efetivos na drenagem do solo. Esses resultados são semelhantes àqueles obtidos por outros pesquisadores na determinação do IHO (Silva et al., 1994; Imhoff et al., 2001; Leão et al., 2006; Tormena et al., 2007).

Pesquisas realizadas por Tormena et al. (1999) e Klein & Libardi (2002) indicaram valores de D_{sc} próximos de $1,28 \text{ g cm}^{-3}$ para Latossolos de mesma classe textural. Na avaliação do LVA sob *Coastcross* em estudo, observou-se que este limite crítico ao adequado desenvolvimento das plantas é mais restritivo, sendo apontado valor próximo de $1,24 \text{ g cm}^{-3}$.

Verificou-se que 33% e 7%, respectivamente, das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, no mês de nov/08, apresentaram valores de D_s superiores à D_{sc} . Para o mês de mar/09, verificou-se que 7% das amostras coletadas na profundidade de 0,20-0,25 m apresentaram valores de D_s superiores à D_{sc} . Esta restrição ao desenvolvimento de raízes nas camadas mais superficiais do solo já havia sido observada por ocasião da

descrição morfológica do perfil realizada no mês de nov/08, quando foi registrado um volume bem menor de raízes finas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, em comparação ao horizonte Bw (0,80-0,85 m) (Anexo 1).

As variações no IHO nas profundidades de 0-0,05, 0,20-0,25 e 0,80-0,85 m (Bw), nos meses de nov/08, mar/09 e maio/09 são mostradas na Figura 2. Avaliando-se os limites do IHO, observou-se que o θ_{CC} representou o limite superior no mês de maio/09, no horizonte Bw, sendo o θ_{PA} igual ou superior ao θ_{CC} para os demais meses e profundidades. Dessa forma, a aeração foi limitante ao adequado crescimento das plantas para os meses de nov/08 e mar/09, na profundidade de 0-0,05 m, uma vez que a macroporosidade foi inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 1). Tormena et al. (1998), ao avaliarem o IHO em Latossolo Roxo, encontraram o θ_{CC} como limite superior do IHO em 97% das amostras avaliadas, contrapondo aos resultados apresentados neste trabalho e confirmando o elevado grau de degradação da estrutura do solo aqui verificado para os meses de nov/08 e mar/09.

No mês de nov/08 verificou-se redução da qualidade estrutural do LVA estudado, quantificada pelas substituições do θ_{PMP} pelo θ_{RP} e θ_{CC} pelo θ_{PA} como limite inferior e superior do IHO, na profundidade de 0-0,05 m e do θ_{PMP} pelo θ_{RP} como limite inferior do IHO, na profundidade de 0,20-0,25 m. Essa redução da qualidade estrutural tem reflexos negativos na quantidade de água potencialmente disponível para as plantas (Figura 2).

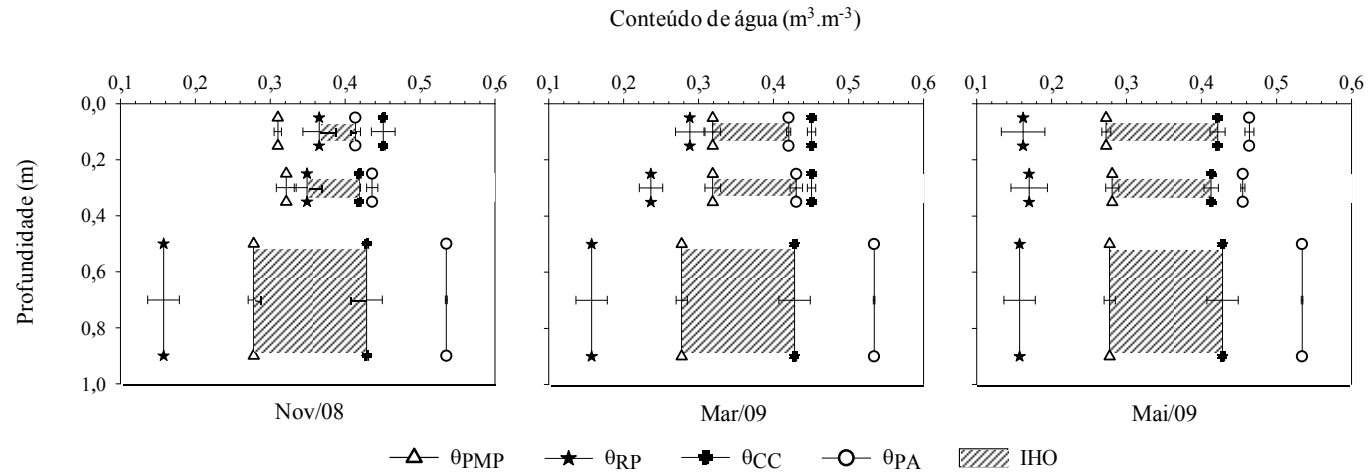


Figura 2. Limites inferiores e superiores do intervalo hídrico ótimo (IHO), nos limites críticos da capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de 0,10 m³ m⁻³ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de 2500 kPa (θ_{RP}), para o Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com *Coastcross* para fenação, nas profundidades de 0-0,05, 0,20-0,25 e 0,80-0,85 m (Bw), nos meses de nov/08, mar/09 e maio/09.

A melhoria da estrutura do solo, como era de se esperar, ocorreu de forma gradativa, sendo verificado uma redução valor do θ_{RP} e um aumento do θ_{PA} , quando se comparam os meses de nov/08 e mar/09 e os meses de mar/09 e maio/09. A evolução estrutural é constatada pelo aumento do IHO de 0,048, 0,092 e 0,149 $m^3 m^{-3}$, nas profundidades de 0-0,05 m e 0,070, 0,123 e 0,132 $m^3 m^{-3}$, na profundidade de 0,20-0,25 m, para os meses de nov/08, mar/09 e maio/09, respectivamente, em comparação aos 0,151 $m^3 m^{-3}$ obtidos no horizonte Bw (Figura 2).

A melhoria na disponibilidade hídrica do solo foi maior na profundidade de 0-0,05 m, em comparação à profundidade de 0,20-0,25 m, fato atribuído à maior atividade biológica (sistema radicular e atividade dos microrganismos) nestas profundidades que, provavelmente, potencializaram a formação de bioporos com ampla variação de tamanho (Willians & Weil, 2004).

As alterações estruturais entre os meses de nov/08 e maio/09 são indicadas pelo aumento médio de 80% na macroporosidade, na redução média de 10% nos valores de D_s , na redução média de 65% na RP e no aumento médio de 140% na disponibilidade hídrica, quando se consideram as duas primeiras profundidades (0-0,05, 0,20-0,25 m) do LVA cultivado com *Coastcross* para fenação.

A melhoria da estruturação do solo, influenciada pelo crescimento e a renovação do sistema radicular associados à atividade de microrganismos, melhorou os atributos físico-hídricos do LVA, ou seja, aumentou a capacidade de armazenamento de água, reduziu a resistência do solo à penetração de raízes e favoreceu a aeração. Isto, sem dúvida, contribui para o restabelecimento do seu potencial produtivo.

4 CONCLUSÕES

O intervalo hídrico ótimo revelou-se um indicador adequado da alteração da estrutura de Latossolo degradado fisicamente.

O *Coastcross* apresenta potencial para a melhoria da estrutura de Latossolo degradado fisicamente, sendo sugerida sua utilização como alternativa ao uso de implementos agrícolas neste contexto.

O *Coastcross* propiciou aumento da disponibilidade hídrica, diminuição da resistência à penetração de raízes e aumento da aeração do solo.

5 REFERÊNCIAS

- BENGOUGH, A. G.; BRANSBY, M. F.; HANS, J.; McKENNA, S. J.; ROBERTS, T.; VALENTINE, T. A. Root responses to soil physical conditions: Growth dynamics from field to cell. *J. Exp. Bot.*, 57:437-443, 2006.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CHAGAS, C. S.; CURI, N.; DUARTE, M. N.; MOTTA, P. E. F.; LIMA, J. M. Orientação das camadas de rochas metapelíticas pobres na gênese de Latossolos sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32: 539-548, 1997.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo, 2.ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, D. F. Estatística básica. Lavras: UFLA, 2005. 654p.
- GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:863-873, 2007.
- GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potencial and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 32:180-186, 1968.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:11-18, 2001.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 12:116-121, 2008.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. R. Bras. Ci. Solo, 33:845-855, 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 26:857-867, 2002.

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 Till. Res., 78:151-170, 2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. Soil Till. Res., 88:279-285, 2006.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; PERFECT, E.; TORMENA, C. A. An algorithm for calculating the least limiting water range of soil using SAS. Agron. J., 97:1210-1215, 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. Adv. Soil Sci., 1:277-294, 1985.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, L. F. C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do Sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1087-1095, 2009.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. *Ci. Anim. Bras.*, 10:68-76, 2009.

MEDEIROS, J. C.; SILVA, A. P.; CERRI, C. E. P.; GIAROLA, N. F. B.; FIGUEIREDO, G. C.; FRACETTO, F. J. C. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. *Plant Soil*, 338: 5-15, 2011.

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:531-538, 2001.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; RESCK, D. V. S. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após 20 anos de manejo e cultivo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:335-344, 2004.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil Till. Res.*, 102:242-254, 2009.

RICHARD, G.; COUSIN, I.; SILLON, J. F.; BRUAND, A.; GUÉRIF, J. Effects of compaction on the porosity of a silt soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *Eur. J. Soil Sci.*, 52:49-58, 2001.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 14:39-45, 2010.

SIGMA PLOT, Scientific Graphing Software. Versão 10.0, San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1775-1781, 1994.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. R. Bras. Ci. Solo, 22:311-317, 1997.

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. R. Bras. Ci. Solo, 31:211-219, 2007.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 22:573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. Soil Till. Res., 52:223-232, 1999.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. Soil Sci. Soc. Am. J., 68:1403-1409, 2004.

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.;
McCULLOUGH-SANDEN, B.; MARKEGARD, G. Soil management effects
on the nonlimiting water range. *Geoderma*, 114:401-414, 2003.

ARTIGO 2

**NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO ESTRUTURAL DE LATOSSOLO EM
CAMPO DE FENO DE *COASTCROSS* (*Cynodon* spp.)**

Normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (versão preliminar)

**Níveis de degradação estrutural de Latossolo em campo de feno de
Coastcross (*Cynodon* spp.)**

RESUMO

A degradação da estrutura do solo, resultante do pisoteio animal e tráfego de máquinas, é um dos grandes entraves para a obtenção de elevadas produtividades das gramíneas, sob pastejo ou fenação, por reduzir gradativamente o vigor das plantas. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar níveis de degradação da estrutura do Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com *Coastcross* em campo de feno, utilizando-se do modelo de capacidade de suporte de carga (CSC) e do intervalo hídrico ótimo (IHO), como ferramentas indicadoras de qualidade estrutural do solo. Foram coletadas amostras de solo, em anéis volumétricos de 0,025 m de altura e 0,064 m de diâmetro, no campo de feno, para determinar o modelo de CSC e o IHO e para comparar os níveis de degradação da estrutura. Foram comparadas quatro situações distintas: área com estrutura recuperada, área com tráfego de máquinas, áreas encrostadas e carreadores. O modelo de CSC e o IHO foram adequados na avaliação da qualidade estrutural do solo. Melhores parâmetros físicos do solo foram verificados na seguinte ordem: área com estrutura recuperada > área com tráfego de máquinas > áreas encrostadas > carreadores. Verificaram-se avanços na predição da compactação do solo, como efeito da entrada de máquinas e equipamentos de fenação no campo de cultivo, e na avaliação da restrição físico-hídrica à gramínea decorrente das operações de tráfego.

Palavras-chave: pressão de preconsolidação, qualidade física do solo, disponibilidade hídrica do solo, compactação do solo, encrostamento do solo.

Levels of structure degradation of Latosol in hay field of *Coastcross*
(*Cynodon* spp.)

ABSTRACT

Degradation of soil structure, as a result of animal grazing and machinery traffic in hay areas, is one of the major limiting factors to higher grass yields, because it gradually reduces plant vigor. Thus, the purpose of this study was to assess the levels of structure degradation of a Red-Yellow Latosol (Oxisol), cultivated with *Coastcross*, in a hay field, using the model of load support capacity (LSC) and least limiting water range (LLWR) to indicate soil structural quality. Soil samples were collected in volumetric rings (0.025 m height and 0.065 m diameter) to determine the LSC curves and the LLWR. In order to compare the levels of degradation of the soil structure, they were used an area with recovered structure; an area with machinery traffic, an area with crusting, and another area representing the pathways of machinery. The LSC model and the LLWR were suitable for the assessment of soil structural quality. Soil structural quality decreased according to the following order: recovered structure > machine traffic > crusting > paths. There were improvements on the prediction of soil compaction as an effect of agricultural machinery traffic in the field and hydro-physical restriction to crops resulting from the machinery traffic operations.

Key-words: preconsolidation pressure, soil physical quality, soil water available, soil compaction, soil crusting.

1. INTRODUÇÃO

O uso e manejo intensivos de solos pode afetar a qualidade estrutural (Dias Junior et al., 2005), acarretando redução no rendimento das culturas e danos ambientais (Oliveira et al. 2003). Entende-se por qualidade do solo o aspecto funcional deste componente dentro de limites do ecossistema que sustente a produtividade biológica, mantenha a qualidade ambiental e promova a saúde animal e vegetal (Soil Science Society of American, SSSA, 2011).

A qualidade estrutural do solo tem sido estudada por diferentes autores, com base na avaliação do modelo de capacidade de suporte de carga (CSC) do solo (Dias Junior & Pierce, 1995; Oliveira et al., 2003; Peng et al., 2004; Gontijo et al., 2008, Ajayi et al., 2009, Lima et al., 2010, Rücknagel et al., 2010) e do modelo de intervalo hídrico ótimo (IHO) (Silva & Kay, 1996; Tormena et al., 1999; Imhoff et al., 2001; Wu et al., 2003; Lapen et al., 2004; Leão et al., 2006, Kaiser et al., 2009; Lima et al., 2009, Fidalski et al., 2010). Estas duas ferramentas de pesquisa utilizam índices multifatoriais que envolvem uma série de atributos físicos do solo que influenciam a susceptibilidade à erosão, o desenvolvimento de plantas e outras funcionalidades hidrológicas.

No estudo de modelos de CSC, uma situação de estresse é simulada. O solo é submetido à compactação, sendo monitorada a deformação por meio do incremento na densidade do solo, para cada nível de pressão aplicada. Estes parâmetros, quando combinados, permitem o cálculo da máxima pressão suportada pelo solo sem a ocorrência da compactação adicional para diferentes conteúdos de água (Dias Junior & Pierce, 1995).

No estudo de IHO, valores limitantes de resistência do solo à penetração, disponibilidade de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, além da porosidade de aeração, são plotados para diferentes

densidades do solo, obtendo-se os parâmetros que são restritivos à utilização da água do solo pela planta (Silva & Kay, 1996).

São escassos os trabalhos nos quais se avaliam as alterações estruturais do solo, cultivado com gramíneas para fenação, sob tráfego de máquinas em condições variadas de umidade ou tensão de água no solo, tornando-se necessário o uso de indicadores de qualidade estrutural, baseados no monitoramento e na predição da compactação do solo, aliado ao estudo do IHO.

Essas ferramentas com menor limite de quantificação e com potencial de predição das possíveis alterações na estrutura e atributos físico-hídricos, resultantes do tráfego de máquinas, em condições inadequadas de umidade, são essenciais ao monitoramento da qualidade estrutural do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar níveis de degradação da estrutura do Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com *Coastcross* em campo de feno, utilizando-se do modelo de CSC e o IHO, como indicadores de qualidade estrutural do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização do solo

O estudo foi desenvolvido em área de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura muito argilosa, cultivado com *Coastcross* (*Cynodon* spp.) e coletado no município de Itutinga, MG. A análise granulométrica da profundidade de 0-0,05 m apresentou valores médios de 630, 240 e 130 g kg⁻¹; da profundidade de 0,20-0,25 m, 670, 210 e 120 g kg⁻¹ e da profundidade de 0,80-0,85 m, 710, 190 e 100 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

2.2 Modelo de capacidade de suporte de carga do solo

Para a construção de modelo de CSC, foram coletadas 15 amostras indeformadas do solo (0,064 m de diâmetro e 0,025 m de altura), na profundidade de 0-0,05 m, no mês de maio de 2009. No início do experimento (nov/08), esta área encontrava-se, com aspectos de degradação estrutural e, conforme verificado no artigo 2, ocorreu melhoria estrutural do solo cultivado com *Coastcross*, na ausência de tráfego de máquinas durante o ciclo produtivo 2008/2009. As amostras indeformadas foram saturadas e, por meio de unidades de sucção (Embrapa, 1997) e ou evaporação, secas até atingir conteúdos de água, entre os potenciais matriciais -6 a -1.500 kPa, valores correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha, sendo, após isto, submetidas ao ensaio de compressão uniaxial (Dias Junior, 1994).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado aplicando-se pressões sucessivas a cada amostra, obedecendo à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1.600 kPa, sendo cada uma delas aplicada até que se atingisse 90% da deformação máxima (Taylor, 1948), seguindo, então, a aplicação de uma nova pressão. Após o ensaio, as amostras foram secas em estufa, à 105° C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo (D_s). A pressão de preconsolidação (σ_p) e a densidade do solo na pressão de preconsolidação ($D_{s\sigma_p}$) foram obtidas segundo Dias Junior & Pierce (1995). O modelo de CSC do solo foi obtido ajustando-se a σ_p em função do conteúdo volumétrico de água no solo (Dias Junior, 1994), usando o software Sigma Plot 10.0.

A σ_p foi ajustada a modelos não lineares, em função do θ , utilizando-se a equação 1 e o software Sigma Plot 10.0 (2006):

$$\sigma_p = 10^{(a + b\theta)} \quad (1)$$

sendo σ_p a pressão de preconsolidação (kPa); a e b, os parâmetros de ajuste da equação e θ , o conteúdo volumétrico de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Na construção do intervalo de confiança, utilizaram-se os critérios propostos por Dias Junior et al. (2005).

2.3 Modelo de intervalo hídrico ótimo do solo

Para a construção de modelo de IHO, utilizaram-se amostras indeformadas do solo (0,064 m de diâmetro e 0,025 m de altura), coletadas nos meses de novembro de 2008, março de 2009 e maio de 2009. Esta área encontrava-se no início do experimento (nov/08) com aspectos de degradação estrutural e, conforme verificado no artigo 2, ocorreu melhoria estrutural do solo cultivado com *Coastcross*, na ausência de tráfego de máquinas durante o ciclo produtivo 2008/2009. Estas amostras foram coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m (15 amostras x 2 profundidades x 3 períodos = 90 amostras) e na profundidade de 0,80-0,85 m, correspondente ao horizonte Bw (15 amostras x 1 profundidade x 1 período = 15 amostras), totalizando 105 amostras.

As amostras foram devidamente preparadas e saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água. Para a determinação da curva de retenção de água (CRA), as amostras foram divididas em 5 grupos de 21 amostras, sendo 3 repetições em cada potencial utilizado. Foram utilizados os seguintes potenciais: 0, condição de solo saturado; -6 kPa, obtido na unidade de sucção; -33, -100 e -1500 kPa, obtidos nas membranas extratoras de Richards (Embrapa, 1997) e o valor menor que -1.500 kPa, até o limite de -60.000 kPa, obtido no psicrômetro de termopar (WP4-T) (Decagon Devices, 2000). Após atingir o equilíbrio hídrico em cada potencial, as amostras foram pesadas e foi determinada a RP, utilizando-se o penetrógrafo eletrônico de bancada, conforme Tormena et al. (1998). Após determinação da RP, as amostras foram secas em

estufa a 105 °C, por 24 horas, para a determinação da D_s e do conteúdo de água do solo (θ).

A CRA foi obtida, ajustando-se o θ em função do potencial matricial da água no solo (Ψ_m), utilizando-se a equação 2 e o procedimento de van Genuchten (1980):

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha\Psi_m)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}} \quad (2)$$

sendo Ψ_m o potencial matricial da água no solo (kPa); θ , o conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{sat} , o conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{res} , o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e m , n e α , os parâmetros de ajuste do modelo. O ajuste da equação da CRA foi realizado pelo método de regressão não linear, utilizando-se o software Sigma Plot 10.0 (2006).

A curva de resistência do solo à penetração (CRS) foi obtida ajustando-se os valores de RP em função do θ a modelos não lineares, utilizando-se a equação 3 e o software Sigma Plot 10.0 (2006):

$$\text{RP} = a + b.e^{(c.D_s)} \quad (3)$$

sendo RP a resistência à penetração (MPa); a , b e c , os parâmetros de ajuste da equação e D_s , a densidade do solo (g cm^{-3}).

O IHO foi determinado adotando-se os procedimentos descritos em Silva et al. (1994) e Tormena et al. (1998). Os valores críticos de conteúdo de água do solo associados com o potencial mátrico, a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração foram, respectivamente: a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}), considerada o conteúdo de água estimado no potencial de -6 kPa; a umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMF}), considerando o conteúdo de água no potencial de -1.500 kPa e o conteúdo de

água do solo, em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968). Para a RP foi adotado o valor crítico de 2.500 kPa (Camargo & Alleoni, 1997). Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos nos potenciais de -6 e -1.500 kPa, utilizando a CRA e os valores do teor de água em que a RP (θ_{RP}) atinge o valor crítico de 2.500 kPa foram obtidos por meio da CRS. O valor de θ_{PA} foi obtido pela expressão $[(1 - D_s/D_p) - 0,1]$. O valor médio de densidade de partículas foi determinado nas amostras, conforme Embrapa (1997), $D_p = 2,50 \text{ g cm}^{-3}$, para a profundidade de 0-0,05 e 0,20-0,25 m; $D_p = 2,66 \text{ g cm}^{-3}$, para o horizonte Bw (0,80-0,85 m).

Na determinação do limite superior do IHO, considerou-se o θ_{CC} ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura. Como limite inferior, foi considerado o θ_{PMP} ou aquele correspondente a θ_{RP} limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

2.4 Avaliação e monitoramento da qualidade estrutural do solo

Para avaliação e monitoramento da qualidade estrutural do solo em glebas com diferentes níveis de degradação da estrutura do solo, foram coletadas amostras indeformadas na profundidade de 0-0,05 m, no mês de fevereiro de 2010. As glebas foram identificadas como: área de estrutura recuperada (área considerada com estrutura recuperada e não submetida ao tráfego de máquinas, durante 2 anos agrícolas) (12 amostras); área de tráfego de máquinas (área submetida ao tráfego médio de 48 passadas ano⁻¹ de trator e implementos que trafegam há 9 anos, sem o controle de umidade do solo) (12 amostras); áreas encrostadas (áreas de pequenas crostas superficiais, localizadas em área de *Coastcross*, submetida ao tráfego de máquinas) (6 amostras) e área de

carreadores (áreas sem o cultivo do *Coastcross* e com tráfego intenso de máquinas e implementos agrícolas) (6 amostras).

As amostras de solo, sob diferentes níveis de degradação, foram coletadas no mês de fevereiro de 2010, com auxílio de um macaco hidráulico, salientando-se que a coleta foi realizada minuciosamente, procurando evitar danos à estrutura. Nas áreas encrostadas, o cilindro foi coletado até a altura de 0,01 m, tendo em vista a superficialidade das crostas formadas neste solo. Estas amostras foram avaliadas na umidade atual, sendo realizado o ensaio de compressão uniaxial, segundo critérios de Dias Junior (1994). Nos cálculos da σ_p foram acrescentadas as proposições de Severiano et al. (2010), assim, além da determinação da σ_p e Ds_{σ_p} , avaliou-se também a pressão crítica (Pcr).

2.5 Avaliação da produção

A produção de matéria seca do *Coastcross*, na área com estrutura recuperada e na área submetida ao tráfego de máquinas, foi analisada cortando-se 1 m² de área em três repetições, coletadas ao nível do solo (Silva & Queiroz, 2002), por quatro ciclos produtivos da estação chuvosa de 2009/2010. As correções das deficiências nutricionais, nestas duas áreas, foram realizadas com a aplicação de 121 kg ha⁻¹ de N, 42 kg ha⁻¹ de P, e 117 kg ha⁻¹ de K. A proteína bruta foi estimada multiplicando-se o teor de N por 6,25 (Rezende et al., 2002).

2.6 Estatística

A distribuição dos dados de Ds , σ_p , Ds_{σ_p} , Pcr e θ no modelo de distribuição normal foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, utilizando-se o programa estatístico Sisvar, conforme Ferreira (2005). As análises de variância dos dados de Ds , σ_p , Ds_{σ_p} , Pcr e θ foram realizadas utilizando-se o modelo de

delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A magnitude da pressão aplicada não prejudicial à qualidade estrutural do solo em função do conteúdo de água, foi quantificada no modelo de CSC do LVA, representado pela linha contínua na Figura 1, com seus respectivos parâmetros, coeficientes de determinação e nível de significância. A alta susceptibilidade do LVA à compactação pode indicar limitação a execução de operações mecanizadas, particularmente em condições de solo úmido (Dias Junior et al., 2005). Assim, é preciso cautela ao se estabelecer o momento mais adequado para o tráfego de máquinas neste solo, tendo em vista o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Considerando a σ_p um indicador do comportamento compressivo do solo (Horn & Fleige, 2003) e com objetivo de avaliar a qualidade estrutural do LVA, sob diferentes níveis de degradação, são apresentadas, na Figura 1, três regiões. De acordo com Dias Junior et al. (2005) as três regiões refletem os níveis de degradação encontrados em um dado solo. Verifica-se, nas amostras situadas na região “a”, a compactação adicional do solo, portanto, a alteração da estrutura. Na região “b”, o solo não sofreu compactação adicional, porém, há uma tendência à compactação, se as próximas operações mecanizadas excederem a CSC do solo. A região “c” indica que não há compactação do solo, sinalizando que a estrutura está adequada ao desenvolvimento das plantas.

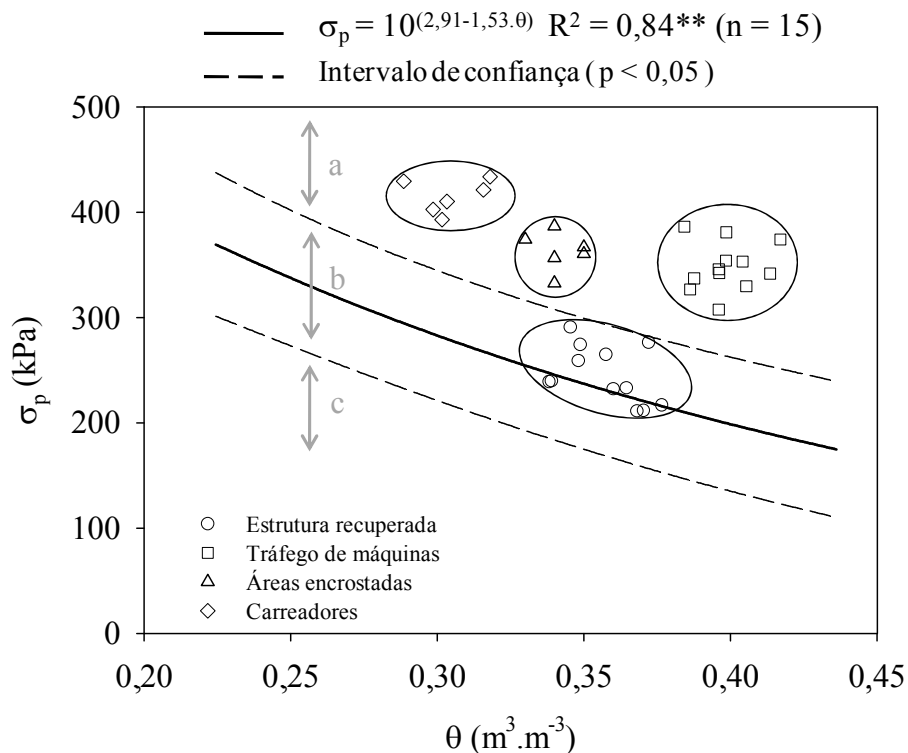


Figura 1. Modelo de capacidade de suporte de carga para o Latossolo Vermelho-Amarelo. Pressão de preconsolidação (σ_p) em função de mudanças do conteúdo de água (θ) e critérios utilizados para analisar os níveis de degradação estrutural de Latossolo sob *Coastcross* (*Cynodon* spp.) em campo de feno. A região “a” indica que a compactação adicional já ocorreu; a região “b” indica que não ocorreu compactação adicional do solo, porém, há uma tendência dessa ocorrência, caso seja adotado um manejo inadequado e a região “c” é aquela onde não ocorreu compactação do solo (Adaptado de Dias Júnior et al., 2005).

Observa-se (Figura 1) que as amostras de solo provenientes da área não submetida ao tráfego de máquinas ficaram localizadas na região “b” (dentro dos limites de CSC do solo), confirmando a melhoria e a manutenção estrutural, apresentando estrutura recuperada e, portanto, não compactada. Entretanto, há uma tendência à compactação, se as pressões aplicadas nas próximas operações mecanizadas excederem a capacidade de suporte de carga do solo. As amostras, coletadas em área de tráfego de máquinas, áreas encrostadas e carregadores, ficaram localizadas na região “a” (acima dos limites de CSC do solo), o que confirma a compactação adicional do solo. Neste caso adverte-se para as consequências de se submeter o solo a condições adversas de carga, particularmente em inadequadas umidade.

Com base no estudo do IHO, a ocorrência ou não de restrição físico-hídrica às culturas foi avaliada no LVA, em função de mudanças do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), da porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}), da resistência do solo à penetração de 2.500 kPa (θ_{RP}) e das alterações nos valores de densidade do solo (Figura 2).

Verifica-se (Figura 2) que a variação do IHO foi dependente da variação da D_s . Observa-se que, em decorrência dos aumentos na D_s do solo estudado, os valores do θ_{CC} , θ_{PMP} e θ_{RP} aumentaram e o valor do θ_{PA} reduziu. Desta forma, com o aumento da D_s , devido à intensificação do tráfego, houve redução do IHO, refletindo as perdas de qualidade estrutural (Silva et al., 1994; Leão et al., 2006 e Tormena et al., 2007).

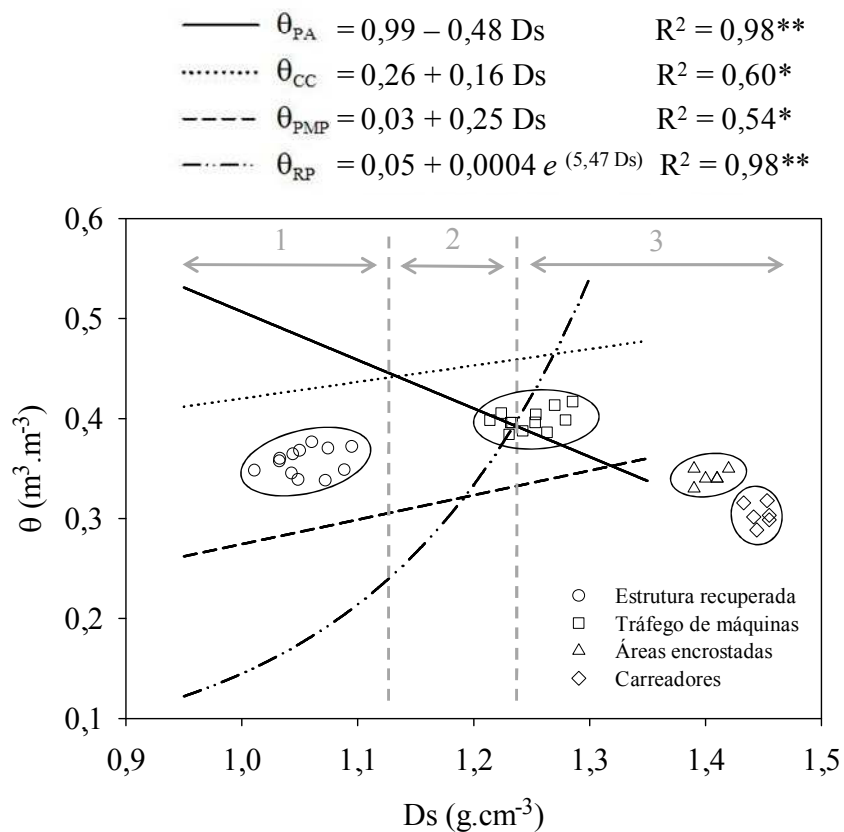


Figura 2. Variação do intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho-Amarelo, em função de mudanças do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 m^3 m^{-3}$ (θ_{PA}), resistência do solo à penetração de 2.500 kPa (θ_{RP}) e alterações na densidade do solo. Região "1", restrição físico-hídrica baixa; região "2", restrição físico-hídrica média e região "3", restrição físico-hídrica severa. Densidade do solo crítica (D_{sc}) = $1,24 g cm^{-3}$.

Para a avaliação dos efeitos decorrentes do tráfego de máquinas sobre a restrição físico-hídrica à cultura, a exemplo do que foi feito no estudo da capacidade de suporte de carga do solo (Figura 1), também foi sugerida a divisão da Figura 2 em três regiões. Região “1”: restrição físico-hídrica baixa, $D_s < 1,14 \text{ g cm}^{-3}$, IHO entre θ_{CC} e θ_{PMP} (a $D_s = 1,14 \text{ g cm}^{-3}$ foi considerada por se verificar que, para valores de D_s inferiores a este, o IHO permanece entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente); região “2”: restrição físico-hídrica média, $1,14 \text{ g cm}^{-3} < D_s < 1,24 \text{ g cm}^{-3}$, θ_{PA} e ou θ_{RP} como limite superior e inferior do IHO; região “3”: restrição físico-hídrica severa, $D_s > 1,24 \text{ g cm}^{-3}$, IHO = 0, sinalizando para a pior condição ao desenvolvimento das plantas.

As amostras de solo, com estrutura considerada recuperada, localizam-se na região “1”, em que a qualidade física do solo pode ser considerada ideal, com ocorrência de estresse limitante ao desenvolvimento das plantas relacionado ao déficit hídrico que, por sua vez, é decorrente da sazonalidade climática. As amostras, coletadas na área de tráfego de máquinas, localizam-se na região “2” e predominantemente na região “3”, indicando restrição físico-hídrica de média a severa. Por sua vez, as amostras coletadas em áreas encrostadas localizam-se na região “3”, com restrição físico-hídrica severa. A formação de crostas pode ser considerada um dos fatores impeditivos à reinfestação dessas áreas com o capim, conduzindo a perdas de áreas cultivadas e, conseqüentemente, a perdas de produção. As áreas correspondentes aos carregadores também localizam-se na região “3”. A avaliação do IHO confirma e complementa a avaliação da CSC, demonstrando as condições adversas a que estas áreas foram submetidas.

As amostras das áreas encrostadas e carregadores extrapolaram os limites físicos do LVA. Verifica-se, assim, que os conceitos de capacidade de campo e ponto de murcha permanente e os modelos matemáticos (Figura 2), para estes dois parâmetros, inicialmente construídos para os solos cultiváveis, não se aplicam a estas amostras.

De posse das informações relacionadas anteriormente, os valores D_s , σ_p , $D_{s_{op}}$, P_{cr} e θ foram organizados na Tabela 1, na qual se verifica a sinalização para a possibilidade de encontrar variados níveis de degradação da estrutura do solo, no campo de feno estudado. Verifica-se incremento significativo da D_s , σ_p e $D_{s_{op}}$ e decréscimo da P_{cr} na seguinte ordem: estrutura recuperada < tráfego de máquinas < áreas encrostadas < carreadores. Estes resultados corroboram os de Giarola et al. (2007), que estudaram a degradação física de um Latossolo Vermelho e confirmaram a possibilidade de se encontrar, em áreas de intensa produção de forragens, degradações físicas do solo mais graves do que as encontradas em áreas de solos similares, sob agricultura intensiva e mecanizada.

Tabela 1. Densidade do solo (D_s), densidade do solo na pressão de preconsolidação ($D_{s_{op}}$), pressão de preconsolidação (σ_p), pressão crítica (P_{cr}) e conteúdo volumétrico de água (θ) das amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes níveis de degradação estrutural.

Níveis de degradação	D_s (g cm ⁻³)	$D_{s_{op}}$ (g cm ⁻³)	σ_p (kPa) ¹	P_{cr} (kPa) ¹	θ (m ³ m ⁻³)
Estrutura recuperada	1,05a	1,15a	246a	376a	0,36b
Tráfego de máquinas	1,25b	1,30b	348b	204b	0,40a
Áreas encrostadas	1,40c	1,31b	363b	51c	0,34b
Carreadores	1,45d	1,46c	415c	17d	0,30c

¹: As amostras foram avaliadas no conteúdo volumétrico de água (θ).

Verifica-se que o valor de pressão que, aplicada ao solo, provocaria restrição físico-hídrica severa (P_{cr}), obtido para $IHO = 0$ e $D_s = 1,24$ g cm⁻³, é maior onde ocorre melhor qualidade estrutural (Tabela 1). Observa-se também que, se a $P_{cr} < \sigma_p$ e $D_{s_{op}} < D_{sc}$, a estrutura é adequada ao desenvolvimento das plantas e no solo não ocorreu compactação adicional (Imhoff et al., 2001). Isso

ocorre para a estrutura recuperada que se localiza na região "b" (Figura 1) e na região "1" (Figura 2).

Acredita-se que a simples retirada do tráfego de máquinas da área de cultivo, associado a condições adequadas de suprimento de água e nutrientes, seja condição suficiente para a promoção da melhoria dos atributos físicos pelo *Cynodon* spp. Isso foi confirmado em trabalhos de Severiano et al. (2010) e Magalhães et al. (2009), realizados com capim do gênero *Cynodon*, em condições de vaso, com solo submetido a diferentes níveis de compactação. Diante da possibilidade de recuperação da qualidade estrutural do solo, pela simples restrição temporária do tráfego na área, sugere-se também que o manejo do solo, por ocasião da entrada de máquinas para operações de fenação, seja feito baseado no monitoramento da umidade, objetivando a evitar a compactação adicional do solo. Porém, verifica-se dificuldade de utilizar esta alternativa durante a estação chuvosa do ano, devido a necessidade de coincidência do estágio produtivo da forrageira com períodos de veranico em que o solo apresenta-se com conteúdo de água e consequente CSC adequados a realização das operações mecanizadas.

Assim, ganham destaques alternativas de manejo como sistematização das linhas de tráfego que concentram o problema de compactação em pequenas faixas, e, principalmente, a adaptação dos pneus do maquinários objetivando adequar as pressões máximas que os equipamentos podem exercer por unidade de área, respeitando os limites de CSC do solo, o que depende dos fabricantes de equipamentos e máquinas agrícolas.

Nas áreas de solo encrostado foram encontrados a condição de IHO = 0 (Figura 2) e valores de D_s e σ_p , 33% e 48% superiores àqueles encontrados nas áreas de solo com estrutura recuperada, respectivamente (Tabela 1), com consequentes impedimentos físico-hídricos ao adequado desenvolvimento das plantas. Nessas áreas, é esperado também o comprometimento da

sustentabilidade ambiental, devido à baixa taxa de infiltração e ao alto escoamento superficial, conforme descrito por Brandão et al. (2006). Isto é justificado pelos processos complexos e dinâmicos, nos quais as partículas do solo foram rearranjadas e consolidadas em uma estrutura superficial coesa (Valentin & Bresson, 1992), o que promoveu a redução da qualidade estrutural do solo.

Na área de tráfego de máquinas, localizada na região "a" (Figura 1) e nas regiões "2" e "3" (Figura 2), verificam-se valores de $D_s > D_{sc}$ e $\sigma_p > P_{cr}$. Como as áreas encrostadas localizam-se no interior desta área, faz-se necessária a intervenção por parte do produtor rural, com práticas de manejo que promovam a melhoria da qualidade estrutural, objetivando o restabelecimento dos níveis produtivos e sustentáveis deste solo. Uma análise econômica precisa ser realizada para definir qual prática seria mais viável para o produtor, a exemplo da retirada das operações mecanizadas da área durante uma estação chuvosa objetivando a melhoria estrutural do solo e posterior sistematização das linhas de tráfego ou duplicação dos rodados do trator.

Verificou-se produção média de massa seca da parte aérea, na área de tráfego de máquinas, no período chuvoso de 2009/2010, de $3,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e teor médio de proteína bruta na parte aérea de 8,2%, contra $5,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de massa seca e 10,6% de proteína bruta, encontrados para a área com estrutura recuperada. Produziu-se mais forragem e com melhor qualidade na área sem de tráfego de máquinas.

A condição mais restritiva ao desenvolvimento das plantas foi encontrada em carregadores. Nestes locais foram encontrados valores de D_s , σ_p e $D_{s_{op}}$, 38%, 69% e 27% superiores aos da área com estrutura recuperada, respectivamente, e o menor valor de P_{cr} (Tabela 1). A condição de $IHO = 0$ (Figura 2) ilustra estas informações, mostrando as severas restrições que o LVA pode sofrer, se não forem respeitados os limites físicos do solo.

A utilização combinada dos dois índices permite prever os efeitos adversos de operações mecanizadas sobre a estrutura e quais imposições físico-hídricas estas operações podem causar. Dessa forma, as ferramentas laboratoriais (CSC e IHO) estudadas neste trabalho podem ser utilizadas de forma prática, tendo em vista que, de posse do conhecimento da σ_p , analisado conjuntamente com a umidade atual (Figura 1), o produtor poderá monitorar o melhor momento para a entrada do maquinário no campo de feno, o que evitaria que a pressão aplicada sobre o solo provoque compactação adicional. Também de forma prática, na dúvida de que uma operação tenha sido feita em condições adversas de umidade, após determinada operação mecanizada, é possível monitorar o solo pela simples avaliação da Ds (Figura 2) e, por meio do IHO, realizar o cálculo da ocorrência ou não de restrição físico-hídrica à cultura imposta pelo solo.

4 CONCLUSÃO

As condições mais restritivas ao desenvolvimento das plantas foram encontradas em áreas de carregadores, seguidos de áreas encrostadas e tráfego de máquinas.

A alta susceptibilidade dos Latossolos à compactação exige, por parte dos fabricantes, equipamentos adequados quanto a distribuição das cargas aplicadas, respeitando à CSC dos mesmos.

Os modelos de CSC e IHO foram adequados na avaliação e no monitoramento da qualidade estrutural do solo, verificando-se complemento de informações ao se utilizar as duas ferramentas, na avaliação do efeito da entrada de máquinas agrícolas e na consequente restrição físico-hídrica à cultura.

5 REFERÊNCIAS

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; ALADENOLA, O. O.; SOUZA, T. T. T.; INDA JUNIOR, A. V. Comparison of estimation methods of soil strength in five soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 487-495, 2009.

BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D.; RUIZ, H. A.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; MARTINEZ, M. A.; MENEZES, S. J. M. C. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 13-21, 2006.

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

DECAGON DEVICES. **Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter**. Pullman, 2000. 70p.

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

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. East Lansing , Michigan State University, 1994. 114p. (Doctorate Thesis).

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**, 2.ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. **Scientia Agrícola**, v. 67, p. 448-453, 2010.

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**, v. 31, p. 863-873, 2007.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potencial and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, v. 32, n. 2, p. 180-186, 1968.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2227-2234, 2008.

HORN, R.; FLEIGE, H. A method for assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. **Soil and Tillage Research**, v. 73, p. 89-99, 2003.

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**, v. 25, p. 11-18, 2001.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 845-855, 2009.

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 and Tillage Research**, v. 78, p. 151-170, 2004.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 279-285, 2006.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, L. F. C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1087-1095, 2009.

LIMA, V. M. P.; MAGALHÃES, C. A. S.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M. Structural quality of soils cultivated with coffee and pasture in an environmental protection area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 709-716, 2010.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um argissolo vermelho-amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, p. 68-76, 2009.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 291-299, 2003.

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

REZENDE, A.V.; EVANGELISTA, A.R.; BARCELOS, A.F.; SIQUEIRA, G.R.; SANTOS, R.V.; MAZO, M.S. Efeito da mistura da planta de girassol (*Helianthus annuus* L.) durante a ensilagem do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no valor nutritivo da silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 31, p. 1932-1938, 2002.

RÜCKNAGEL, J.; BRANDHUBER, R.; HOFMANN, B.; LEBERT, M.; MARSCHALL K.; PAUL, R.; STOCK O.; CHRISTEN, O. Variance of mechanical precompression stress in graphic estimations using the Casagrande method and derived mathematical models. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 165-170, 2010.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICAN. **Glossary of soil science terms**. Disponível em: <www.soils.org/publications/soils-glossary>. Acesso em: 02 de jun. 2011.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; CASTRO, M. B.; OLIVEIRA, L. F. C.; COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II -quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 414-423, 2010.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 39-45, 2010.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**. Versão 10.0, San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth to the Least Limiting Water Range of Soils. **Plant and Soil**, v. 184, p. 323-329, 1996.

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

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

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700p.

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**, 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**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v. 52, p. 223-232, 1999.

VALENTIN, C.; BRESSON, L. M. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. **Geoderma**, v. 55, p. 225-245, 1992.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; McCULLOUGH-SANDEN, B.; MARKEGARD, G. Soil management effects on the nonlimiting water range. **Geoderma**, v. 114, p. 401-414, 2003.

ARTIGO 3

**MELHORIA ESTRUTURAL DE LATOSSOLO:
CULTIVO DE GRAMÍNEA PERENE E SEUS EFEITOS EM IHO, σ_p , COS E
PRODUÇÃO DE FORRAGEM**

Normas da Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (versão preliminar)

Melhoria estrutural de Latossolo: cultivo de gramínea perene e seus efeitos em IHO, σ_p , COS e produção de forragem

RESUMO

No monitoramento da qualidade estrutural do solo é essencial a utilização de ferramentas com menor limite de quantificação e com potencial de predição das possíveis alterações na estrutura e atributos físico-hídricos, resultantes do crescimento e da renovação do sistema radicular ou da compactação devido ao tráfego de máquinas. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as possíveis melhorias estruturais em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso, promovidas pelo *Coastcross* (*Cynodon* spp.). Foram avaliados o intervalo hídrico ótimo (IHO), a pressão de preconsolidação (indicativa da capacidade de suporte de carga do solo - CSC), o carbono orgânico do solo e produção de forragem. Amostras de solo foram coletadas em anéis volumétricos de 0,025 m de altura e 0,064 m de diâmetro, em uma análise temporal, durante o ano de 2009/2010, no campo de feno para determinar os modelos de CSC e o IHO. O primeiro tratamento corresponde a áreas sem tráfego de máquinas agrícolas, avaliadas no mês de maio de 2010 (ST maio/10). O segundo tratamento corresponde a áreas com tráfego de máquinas agrícolas, avaliadas nos meses de novembro de 2009 (T nov/09) e maio de 2010 (T maio/10). Foi avaliado também o horizonte Bw, como referencial de boa qualidade estrutural. Verificou-se maior disponibilidade hídrica efetiva para as plantas, por meio do IHO, o que é indicativo de melhor qualidade estrutural no solo, na seguinte ordem: horizonte Bw > ST maio/10 > T nov/09 > T maio/10. A melhor qualidade estrutural do solo, avaliado por meio dos modelos de CSC, ocorreu no horizonte Bw, acompanhado da seguinte ordem: ST maio/10 > T nov/09 > T maio/10. A pressão de preconsolidação e o IHO foram adequados na avaliação da qualidade estrutural do solo. O *Coastcross* apresenta potencial para a melhoria dos atributos físico-hídricos do Latossolo degradado fisicamente, aumentando a disponibilidade hídrica, diminuindo a resistência do solo à penetração de raízes e aumentando a aeração do solo, com consequente aumento dos teores de carbono orgânico do solo e da produção de forragem.

Palavras-chave: pressão de preconsolidação, qualidade física do solo, disponibilidade hídrica do solo, compactação do solo.

Improvement of the Latosol structure: cultivation of perennial grass and their effects in LLWR, σ_p , SOC and forage production

ABSTRACT

Monitoring the quality of the soil requires the utilization of tools with lower limit of quantification, able to predict changes in soil structure and hydro-physical attributes, resulting from the growth and renewal of the root system or compaction due to machine traffic. Thus, the objective of this study was to evaluate the structural changes of the Red-Yellow Latosol (Oxisol), when cultivated with perennial grass, *Coastcross* (*Cynodon* spp.), and their effects on least limiting water range (LLWR), preconsolidation pressure (indicative of load support capacity of soils - LSC), organic carbon and forage production. Soil samples were collected in volumetric rings of 0.025 m height and 0.065 m diameter, in a temporal analysis for the year 2009/2010, in the hay field to determine the models of LSC and LLWR. The first treatment corresponds to areas with no agricultural machine traffic, measured in the month of May 2010 (NT May/10). The second treatment corresponds to areas with agricultural machine traffic, assessed in November 2009 (T Nov/09) and May 2010 (T May/10). We also assessed the Bo horizon as a reference of good structural quality. There was better structural quality, assessed by LLWR, and consequently higher water availability for plant growth in the following order: Bo horizon > NT May/10 > T Nov/09 > T May/10. Better soil structure, assessed by the LSC model, occurred in the Bo horizon accompanied by the following order: NT May/10 > T Nov/09 > T May/10. The preconsolidation pressure and the LLWR are adequate indicators of structural changes. The *Coastcross* shows potential for improving the structure of the physically degraded Latosol, increased water availability, reduced resistance to root penetration, increased soil aeration and improved forage production.

Keywords: preconsolidation pressure, soil physical quality, soil water availability, soil compaction.

1 INTRODUÇÃO

A boa qualidade estrutural do solo garante condições físicas adequadas ao desenvolvimento das plantas, aumentando a capacidade produtiva e a sustentabilidade ambiental. Porém, quando o manejo afeta a qualidade do solo, o desenvolvimento das plantas é prejudicado. Os principais prejuízos podem ocorrer devido à compactação resultante do tráfego de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade (Dias Junior et al., 2005). Dependendo do grau de compactação, poderão ocorrer quedas nos rendimentos das culturas, agravadas por danos ambientais (Oliveira et al. 2003), tendo em vista a maior exposição do solo e o conseqüente aumento da susceptibilidade do mesmo aos agentes erosivos.

A melhoria da estrutura do solo e o controle da compactação superficial podem ser realizados por meio de cultivo de gramíneas perenes (Severiano et al., 2010; Vezzani & Mielniczuk, 2011) e microrganismos (Blanchart et al., 2004; Vezzani & Mielniczuk, 2001). O uso de plantas, que atuam nesse sentido, constitui importante estratégia de manejo em sistemas intensivos de cultivo (Jimenez et al., 2008). As gramíneas, em especial, apresentam potencial de rompimento de camadas adensadas e ou compactadas e de recuperação estrutural do solo, devido à alta densidade e periódica renovação de suas raízes, sendo estes alguns dos fundamentos para a qualidade e a sustentabilidade da produção (Silva & Mielniczuk, 1997).

Do ponto de vista físico, o cultivo de plantas que contribuem para a melhoria da estrutura do solo, como técnica de manejo, é importante alternativa por propiciar a formação de bioporos no solo com ampla variação de tamanho. Estes bioporos funcionam como rotas alternativas para o crescimento das raízes das seguintes gerações (Williams & Weil, 2004), e aumentam o movimento de água e a difusão de gases no solo (Müller et al., 2001). Além de apresentarem

potencial de redução do impedimento mecânico, as gramíneas contribuem para a melhoria do estado de agregação do solo (Camargo & Alleoni, 1997; Vezzani & Mielniczuk, 2011).

A qualidade estrutural do solo tem sido estudada por diferentes autores com base na avaliação do intervalo hídrico ótimo (IHO) - indicativo da água potencialmente disponível para as plantas - (Silva & Kay, 1996; Tormena et al., 1999; Imhoff et al., 2001; Wu et al., 2003; Leão et al., 2006; Kaiser et al., 2009; Lima et al., 2009, Fidalski et al., 2010; Medeiros et al., 2011) e da pressão de preconsolidação (σ_p) - indicativa da capacidade de suporte de carga do solo (Dias Junior & Pierce, 1995; Oliveira et al., 2003; Peng et al., 2004; Gontijo et al., 2008, Ajayi et al., 2009, Lima et al., 2010, Severiano et al., 2010; Rücknagel et al., 2010). Essas duas ferramentas de pesquisas utilizam índices multifatoriais que envolvem uma série de atributos físicos do solo. A qualidade do solo também pode ser monitorada pelo teor de carbono orgânico do solo, que indica qualidade por estar ligada a funções biológicas, físicas e químicas no ambiente edáfico (Shukla et al., 2006) e pela avaliação da produção das culturas.

No estudo de IHO, valores limitantes de conteúdo de água na resistência do solo à penetração, disponibilidade de água na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, além da porosidade de aeração, são plotados para diferentes densidades do solo, obtendo-se os parâmetros que são restritivos à utilização da água do solo pela planta (Silva et al., 1994).

Para a determinação da σ_p , uma situação de estresse é simulada. O solo é submetido à compactação, sendo monitorada a deformação por meio do incremento na densidade do solo, para cada nível de pressão aplicada. Estes parâmetros, quando combinados, permitem o cálculo da máxima pressão suportada pelo solo sem a ocorrência da compactação adicional para diferentes conteúdos de água (Dias Junior & Pierce, 1995).

No monitoramento da qualidade estrutural do solo é essencial a utilização de ferramentas com menor limite de quantificação e com potencial de predição das possíveis alterações na estrutura e atributos físico-hídricos, resultantes do crescimento e da renovação do sistema radicular ou da compactação devido ao tráfego de máquinas. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as possíveis melhorias estruturais em Latossolo muito argiloso, promovido pelo *Coastcross* (*Cynodon* spp.), assim como seus efeitos no intervalo hídrico ótimo, pressão de preconsolidação, carbono orgânico do solo e produção de forragem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização do solo

O estudo foi desenvolvido em área de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura muito argilosa, cultivado com *Coastcross* (*Cynodon* spp.) e coletado no município de Itutinga, MG. A análise granulométrica da profundidade de 0-0,05 m apresentou valores médios de 630, 240 e 130 g kg⁻¹; da profundidade de 0,20-0,25 m, 670, 210 e 120 g kg⁻¹ e da profundidade de 0,80-0,85 m, 710, 190 e 100 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

2.2 Tratamentos e amostragem

O experimento foi implantado em parcelas experimentais de 30 m², localizadas no interior de uma área de 9 ha cultivada com *Coastcross* (*Cynodon* spp.), visando à produção comercial de feno. Na média, ocorreram doze operações de tráfego mecanizado, durante as etapas produtivas de corte, revolvimento, enfardamento e transporte. Estas operações são multiplicadas por

quatro, quando se consideram os sucessivos cortes durante a estação chuvosa do ano. A área está sob este manejo desde 2001.

O primeiro tratamento corresponde a áreas sem tráfego de máquinas agrícolas (ST maio/10). Nesta área, as correções das deficiências nutricionais foram realizadas com a aplicação de 87 kg ha⁻¹ de P, 100 kg ha⁻¹ de Ca, 38 kg ha⁻¹ de Mg e a adubação de manutenção, realizada durante os quatro cortes da forrageira, de 150 kg ha⁻¹ de N e 124 kg ha⁻¹ de K. O segundo tratamento corresponde a áreas com tráfego de máquinas agrícolas (T maio/10), média de 48 passadas ano⁻¹ de um trator acoplado a implementos que trafega sem controle da umidade do solo. Nesta área, as correções das deficiências nutricionais foram realizadas segundo critérios de economia e manejo do produtor com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P e a adubação de manutenção de 121 kg ha⁻¹ de N e 117 kg ha⁻¹ de K.

O experimento foi iniciado em 1º de novembro de 2009, com o corte de uniformização do *Coastcross* à altura de 10 cm do solo. Posteriormente, realizaram-se quatro cortes de avaliação da forrageira, com intervalos médios de 44 dias para cada corte, sendo o experimento conduzido até 10 de outubro de 2010.

A coleta de amostras do solo com estrutura preservada (0,064 m de diâmetro por 0,025 m de altura) foi realizada em um delineamento inteiramente casualizado, com auxílio de um macaco hidráulico, nos meses de novembro de 2009 (T nov/09), antes do início do experimento, nas profundidades de 0-0,05; 0,20-0,25 e 0,80-0,85 m, correspondente ao horizonte Bw (18 amostras x 3 profundidades = 54 amostras) e no mês de maio de 2010 (T maio/10 e ST maio/10), após os quatro cortes e período de pousio de 34 dias, nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m (18 amostras x 2 profundidades x 2 tratamentos = 72 amostras), totalizando 126 amostras. Após coletadas, as amostras foram envoltas em filme plástico, parafinadas e acondicionadas em

sacos plásticos, sob temperatura de aproximadamente 25° C, até serem processadas no laboratório.

2.3 Intervalo hídrico ótimo

Para a construção do IHO foi necessário determinar a curva de retenção de água (CRA) e a curva de resistência do solo à penetração (CRS). Assim, as amostras com estrutura preservada foram saturadas e, por meio de unidades de sucção (Reichert & Reinert, 2006), foram equilibradas nos potenciais matriciais de -2 e -6 kPa e, nas membranas extratoras de Richards (Embrapa, 1997) equilibradas nos potenciais matriciais de -33, -100, -500 e -1,500 kPa, suficiente para a determinação da CRA. Após o equilíbrio, estas foram submetidas ao ensaio de resistência à penetração (RP) (Tormena et al. 1998) e de compressão uniaxial (Dias Junior & Pierce, 1995). Os dois ensaios foram realizados na sequência, sendo, primeiro, realizado o ensaio de RP e, depois, o de compressão uniaxial.

A CRA foi obtida ajustando-se o conteúdo volumétrico de água (θ) em função do potencial matricial da água no solo (Ψ_m), utilizando-se a equação 1 e o procedimento de van Genuchten (1980):

$$\theta = (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m + \theta_{\text{res}} \quad (1)$$

sendo Ψ_m o potencial matricial da água no solo (kPa); θ , o conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{sat} , o conteúdo de água na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_{res} , o conteúdo de água no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e m , n e α , os parâmetros de ajuste do modelo.

O ensaio de RP foi realizado utilizando-se um penetrógrafo eletrônico de bancada, modelo MA 933, marca Marconi, com velocidade constante de 0,01 m

min^{-1} , conforme Tormena et al. (1998). A CRS foi ajustada a modelos não lineares, em função do θ , utilizando-se a equação 2 e o software Sigma Plot 10.0 (2006):

$$RP = a.e^{(b.Ds)} \quad (2)$$

sendo RP a resistência à penetração (kPa); a e b, os parâmetros de ajuste da equação e θ , o conteúdo volumétrico de água ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$). Os ajustes das equações das CRA e CRS foram realizados pelo método de regressão não linear, utilizando-se o software Sigma Plot 10.0 (2006).

O IHO foi determinado adotando-se os procedimentos descritos em Silva et al. (1994) e Tormena et al. (1998). Os valores críticos de conteúdo de água do solo associados com o potencial mátrico, a resistência do solo à penetração e a porosidade de aeração foram, respectivamente: umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) ou conteúdo de água estimado no potencial matricial de -6 kPa; umidade no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou conteúdo de água no potencial de -1.500 kPa e conteúdo de água do solo em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Grable & Siemer, 1968). Para a RP, foi adotado o valor crítico de 2.500 kPa. Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos nos potenciais de -6 e -1.500 kPa, utilizando a CRA e os valores do conteúdo de água em que a RP (θ_{RP}) atinge o valor crítico de 2.500 kPa foram obtidos por meio da CRS. O valor de θ_{PA} foi obtido pela expressão $[(1 - Ds/Dp) - 0,1]$. Considerou-se o valor médio de densidade de partículas, $Dp = 2,50 \text{ g cm}^{-3}$, para as profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m e $Dp = 2,66 \text{ g cm}^{-3}$, para o horizonte Bw (0,80-0,85 m), determinada nas amostras, conforme Embrapa (1997).

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao desenvolvimento da cultura.

Como limites inferiores, foram considerados o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao desenvolvimento das plantas, segundo critérios propostos por Silva et al. (1994).

2.4 Ensaio de compressão uniaxial

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado logo após a análise de RP, aplicando-se pressões em cada amostra, obedecendo-se à seguinte ordem: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma delas aplicada até que se atingisse 90% da deformação máxima (Taylor, 1948), seguindo, então, a aplicação de uma nova pressão. Após o ensaio, as amostras foram secas em estufa a 105° C, por 48 horas, para a determinação da densidade do solo (Ds). A σ_p foi obtida segundo Dias Junior & Pierce (1995). Os modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) dos solos foram obtidos ajustando-se a σ_p de dezoito amostras em função do potencial matricial da água no solo (Oliveira et al., 2003).

A σ_p foi ajustada a modelos não lineares, em função do Ψ_m , utilizando-se a equação 3 e o software Sigma Plot 10.0 (2006):

$$\sigma_p = a + b \ln(\Psi_m) \quad (3)$$

sendo σ_p a pressão de preconsolidação (kPa); a e b, os parâmetros de ajuste da equação e Ψ_m , o potencial matricial da água no solo (kPa).

2.5 Avaliação do carbono orgânico do solo

Na avaliação do teor de carbono orgânico do solo (COS), coletaram-se amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, nos

meses de novembro de 2009 e outubro de 2010 e no horizonte Bw (0,80-0,85 m). Foram utilizados em torno de 10 mg de amostra de solo peneirado (diâmetro menor que 0,02 mm) e calcinados no analisador automático de C, do tipo TOC, a 950° C.

2.6 Avaliação da produção de forragem

Na avaliação da produção, coletou-se a parte aérea da planta, ao nível do solo, obtida dos cortes da forrageira, nos dias 11 de dezembro de 2009 e 17 de janeiro, 27 de fevereiro e 24 de abril de 2010. As amostras foram acomodadas em sacos de papel, sendo pesadas e levadas à estufa de ventilação forçada, a 65° C, por 72 horas, para a determinação da massa seca da parte aérea, conforme metodologia de Silva & Queiroz (2002). A proteína bruta foi estimada multiplicando-se o teor de N por 6,25 (Rezende et al., 2002).

2.7 Estatística

A distribuição dos dados de Ds e COS no modelo de distribuição normal foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, utilizando-se o programa estatístico Sisvar, conforme Ferreira (2005). A análise de variância dos dados de Ds e COS foi realizada utilizando-se o modelo de delineamento inteiramente casualizado, sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). As comparações das equações de regressão dos modelos de CSC foram realizadas segundo Snedecor & Cochran (1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O IHO das diferentes amostras, com seus respectivos parâmetros, coeficientes de determinação e nível de significância, é apresentado na Figura 1. Verificou-se maior disponibilidade hídrica efetiva para as plantas, o que é indicativo de melhor qualidade estrutural no solo, na seguinte ordem: horizonte Bw > ST maio/10 > T nov/09 > T maio/10 (Figura 1). Os valores médios de IHO foram de $0,157 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no horizonte Bw; $0,058$ e $0,048 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para ST maio/10; $0,013$ e $0,009 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para T nov/09 e 0 e $0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para T maio/10, nas profundidades de $0-0,05$ e $0,20-0,25$ m, respectivamente, o que evidencia a compactação ocorrida nas áreas de tráfego de máquinas agrícolas (T maio/10) e o alívio na estrutura do solo promovido pelo *Coastcross* em área com ausência de tráfego (ST maio/10).

A variação temporal do IHO entre os meses de novembro de 2009 e maio de 2010 foi dependente da alteração da Ds. Observou-se que, com aumentos na Ds do solo, os valores do θ_{CC} , θ_{PMP} e θ_{RP} aumentaram e os valores do θ_{PA} reduziram (Figura 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (1994), Leão et al. (2006) e Tormena et al. (2007), estudando solos de diferentes mineralogias e texturas.

O θ_{CC} representou o limite superior do IHO no ST maio/10 e no horizonte Bw (Figura 1). Estes resultados sugerem que a microestrutura do solo está estável e preservada e que há espaço poroso suficiente para trocas gasosas (Tormena et al., 1999). Nos tratamentos T nov/09 e T maio/10, verificou-se θ_{PA} igual ou inferior ao θ_{CC} , nas profundidades de $0-0,05$ e $0,20-0,25$ m, de onde se depreende que, a aeração foi limitante ao adequado crescimento das plantas, uma vez que a macroporosidade foi inferior a $0,10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, confirmando a degradação da estrutura do solo nestas condições.

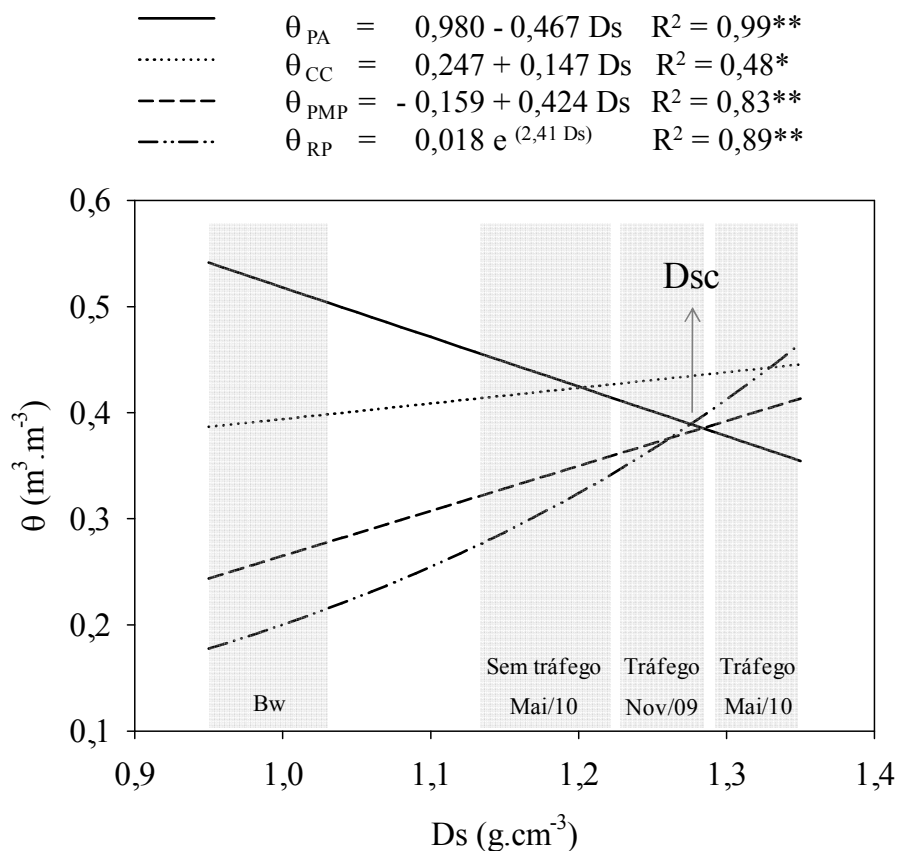


Figura 1. Variação do intervalo hídrico ótimo do Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com *Coastercross* em função de mudanças do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}), resistência do solo à penetração de 2.500 kPa (θ_{RP}) e alterações na densidade do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m. Densidade do solo crítica (D_{sc}) = $1,27 \text{ g cm}^{-3}$.

No tratamento T maio/10, verificou-se a situação mais limitante, quantificada pelas substituições do θ_{PMP} pelo θ_{RP} e θ_{CC} pelo θ_{PA} , como limite inferior e superior do IHO nas duas profundidades. Essa redução da qualidade estrutural tem reflexos negativos na quantidade de água potencialmente disponível para as plantas (Figura 1).

A variação temporal do modelo de CSC das diferentes amostras do LVA com seus respectivos parâmetros, coeficientes de determinação e nível de significância é apresentada nas Figuras 2 e 3, para as profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, respectivamente. Ocorreram diferenças estatísticas entre os modelos de CSC em pelo menos um dos seguintes parâmetros: homogeneidade dos dados, coeficiente angular e linear, quando estes são comparados dois a dois, segundo os procedimentos de Snedecor & Cochran (1989).

---△---	Tráfego Mai/10	$\sigma_p = 305,3 + 24,1 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,94^{**}$	$n = 18$
---x---	Tráfego Nov/09	$\sigma_p = 272,3 + 15,4 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,89^{**}$	$n = 18$
---•---	Sem tráfego Mai/10	$\sigma_p = 191,2 + 21,4 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,96^{**}$	$n = 18$
---o---	Bw	$\sigma_p = 74,5 + 21,4 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,93^{**}$	$n = 18$

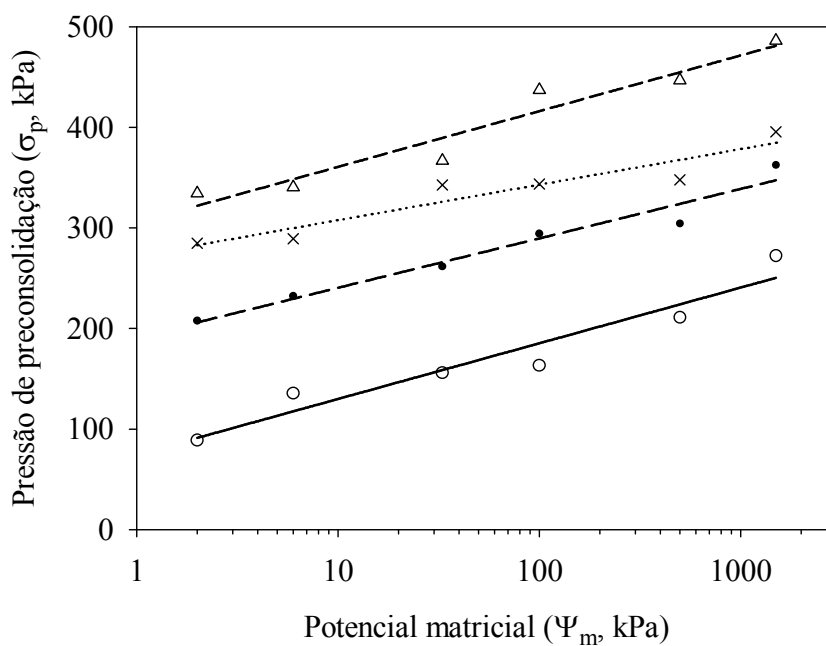


Figura 2. Modelos de capacidade de suporte de carga para o Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com *Coastcross*, na profundidade 0-0,05 m e horizonte Bw (0,80-0,85 m), para o mês de novembro de 2009, em comparação a maio de 2010, nos tratamentos com e sem tráfego de máquinas agrícolas.

---△---	Tráfego Mai/10	$\sigma_p = 328,3 + 16,2 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,98^{**}$	$n = 18$
.....x.....	Tráfego Nov/09	$\sigma_p = 286,6 + 5,4 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,93^{**}$	$n = 18$
---•---	Sem tráfego Mai/10	$\sigma_p = 233,3 + 12,9 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,93^{**}$	$n = 18$
—○—	Bw	$\sigma_p = 74,5 + 21,4 \ln(\Psi_m)$	$R^2 = 0,93^{**}$	$n = 18$

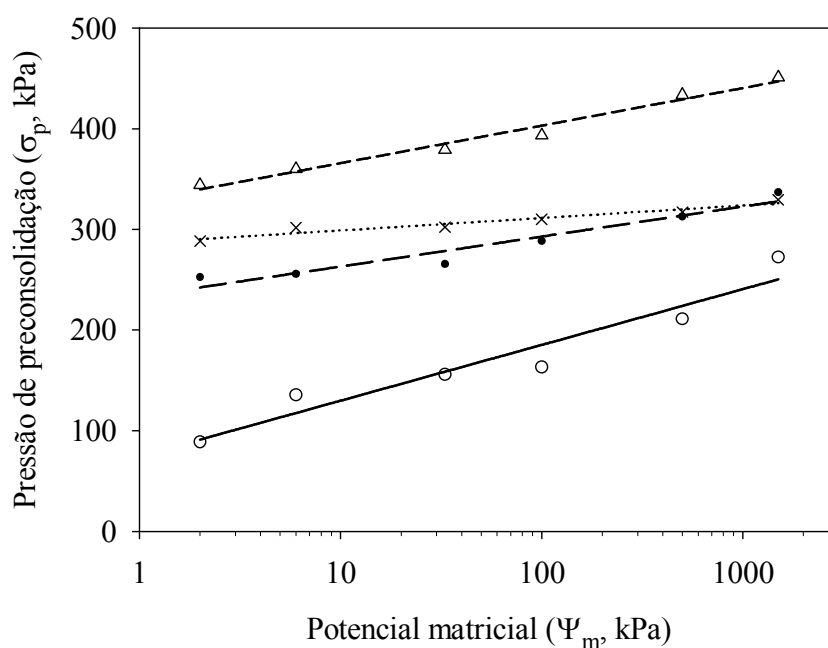


Figura 3. Modelos de capacidade de suporte de carga para o Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com *Coastcross*, na profundidade 0,20-0,25 m e horizonte Bw (0,80-0,85 m), para o mês de novembro de 2009, em comparação a maio de 2010, nos tratamentos com e sem tráfego de máquinas agrícolas.

Considerando a pressão de preconsolidação (σ_p), a máxima pressão suportada pelo solo sem que ocorra compactação adicional (Dias Junior & Pierce, 1995), e por meio da observação (Figuras 2 e 3) de que os valores deste índice cresceram, sempre em direção aos maiores valores absolutos de Ψ_m , conclui-se que as operações mecanizadas devem ser realizadas em condições de solo mais seco. Essa afirmação reforça a recomendação de Oliveira et al. (2003) e Ajayi et al. (2009). Salienta-se, ainda, que, fixando-se um mesmo Ψ_m , os menores valores de σ_p são indicativos de solo mais poroso. A melhor qualidade física do solo em estudo ocorreu no horizonte Bw, acompanhado da seguinte ordem: ST maio/10 > T nov/09 > T maio/10, independente da profundidade avaliada (Figura 2 e 3).

Assim, de acordo com o histórico, a maior pressão aplicada em condições inadequadas de umidade ocorreu no tratamento T maio/10, quando os valores de σ_p , para o $\Psi_m = -6$ kPa, atingiram os limites de 341 e 360 kPa, nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, respectivamente. Essa mesma área, avaliada no mês de novembro de 2009 (T Nov/09), $\Psi_m = -6$ kPa, apresentava valores de σ_p de 289 e 382 kPa, nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, respectivamente, evidenciando o processo de compactação que ocorreu na camada mais superficial do solo, resultante do tráfego de máquinas agrícolas em condições inadequadas de umidade. A área que não recebeu tráfego (ST maio/10) apresentou valores de σ_p , para o $\Psi_m = -6$ kPa, de 232 e 256 kPa, nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, respectivamente, evidenciando uma melhoria estrutural ocorrida ao longo dos quatro ciclos produtivos do *Coastcross*.

A melhoria estrutural proporcionou uma série de benefícios para o solo. Esses benefícios foram quantificados com base em D_s , COS e produção. Os valores de D_s , para as duas profundidades avaliadas, aumentaram em cerca de

4%, comparando o T nov/09 com T maio/10 e reduziram em aproximadamente 6%, comparando o T nov/09 com ST maio/10 (Tabela 1).

Pesquisas realizadas por Tormena et al. (1999), Klein & Libardi (2002) e Severiano et al. (2011) indicaram valores de Dsc próximos de $1,28 \text{ g cm}^{-3}$, para Latossolos de mesma classe textural. Na avaliação do LVA sob *Coastcross* em estudo, confirmou-se o limite crítico ao adequado desenvolvimento das plantas, sendo apontado valor próximo de $1,27 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 1). Verificou-se que 22% e 39%, respectivamente, das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m do solo no T nov/09, apresentaram valores de Ds superiores à Dsc. A restrição ao desenvolvimento de raízes nas camadas mais superficiais do solo já havia sido observada por ocasião da descrição morfológica do perfil realizada, no mês de novembro de 2008, quando foi registrado um volume muito menor de raízes finas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, em comparação ao horizonte Bw (0,80-0,85 m).

Para o T maio/10, verificou-se que 83% e 72%, respectivamente, das amostras coletadas nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, apresentaram valores de Ds superiores à Dsc, configurando o maior grau observado de degradação na estrutura. Para o Bw e ST maio/10 não foram verificados valores de Ds superiores à Dsc.

Comparando-se os meses de nov/09 e out/10, verificou-se, para as duas profundidades, redução de aproximadamente 8% no conteúdo de COS no tratamento com tráfego de máquinas e aumento de 12% na área sem tráfego (Tabela 1). Isto sugere que a ausência de tráfego na área propicia melhores condições para o desenvolvimento do capim, aumentando o aporte e o estoque de COS. Espera-se que o COS condicione aumentos na agregação e estabilidade estrutural do solo, devido aos efeitos benéficos resultantes do seu maior teor (Soane, 1990).

Tabela 1. Valores de densidade do solo e carbono orgânico do solo, nas profundidades de 0-0,05 e 0,20-0,25 m, em comparação ao horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Amarelo sob *Coastcross*.

Profundidade	Tratamento	Ds ⁽¹⁾ (g cm ⁻³)	Tratamento	COS ⁽²⁾ (%)
0-0,05 m	T nov/09	1,25c (±0,008)	T nov/09	2,66b (±0,061)
	T maio/10	1,32d (±0,010)	T out/10	2,36c (±0,163)
	ST maio/10	1,15b (±0,012)	ST out/10	2,96a (±0,100)
Bw		0,99a (±0,014)		1,17d (±0,006)
CV(%)		4,00		9,80
0,20-0,25 m	T nov/09	1,27c (±0,009)	T nov/09	2,11b (±0,014)
	T maio/10	1,30d (±0,010)	T out/10	2,04b (±0,075)
	ST maio/10	1,21b (±0,009)	ST out/10	2,35a (±0,117)
Bw		0,99a (±0,014)		1,17c (±0,006)
CV(%)		3,76		6,46

Médias seguidas da mesma letra para cada coluna e dentro de cada profundidade, comparadas ao Bw, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ⁽¹⁾ Média de 18 repetições. ⁽²⁾ Média de 3 repetições.

Verificou-se média de massa seca da parte aérea, para os quatro cortes, de 2,6 t ha⁻¹ no ST maio/10 e de 0,9 t ha⁻¹ no T maio/10, e o teor médio de proteína, quantificado na parte aérea, de 10% no ST maio/10 e de 8% no T maio/10. Dessa forma, a melhoria dos atributos físicos e do COS ocorreu como reflexo do maior crescimento da forrageira e vice-versa. Por meio do maior desenvolvimento do sistema radicular deve ter ocorrido rompimento das camadas compactadas com conseqüente maior volume explorado de solo e melhor aproveitamento da água e dos nutrientes. A posterior renovação do sistema radicular e aporte de carbono das raízes mortas no solo, estimulou a maior atividade de microrganismo, o que contribui para a formação de bioporos e a melhoria estrutural do solo, num ciclo crescente de benefícios. Isto, sem dúvida, contribuiu para o restabelecimento do potencial produtivo e maior

resiliência do solo, concordando com afirmações de Vezzani & Mielniczuk (2011). Assim, destaca-se o importante papel dos sistemas que cultivam ou associam gramíneas perenes à cultura principal para a qualidade do solo.

A melhoria da estrutura do solo, no tratamento ST maio/10, ocorreu de forma gradativa entre os meses de novembro de 2009 e maio de 2010. Melhores valores de IHO, σ_p , Ds e COS foram verificados na profundidade de 0-0,05 m, em comparação à profundidade de 0,20-0,25 m. Este fato é atribuído à maior atividade biológica (sistema radicular e atividade dos microrganismos) nesta profundidade que, provavelmente, potencializou a formação de bioporos com ampla variação de tamanho (Willians & Weil, 2004).

Tendo em vista a necessidade de melhor entendimento do processo de melhoria na estrutura do solo, no que diz respeito a continuidade, forma, tamanho, quantidade, e principalmente a distribuição dos poros do solo nas áreas com e sem tráfego de máquinas agrícolas, estudos com tomografia computada de raio-x vem sendo desenvolvidos, já com alguns resultados preliminares (Anexo B - Figura 1B).

4 CONCLUSÕES

O *Coastcross* apresenta potencial para a melhoria dos atributos físico-hídricos do Latossolo degradado fisicamente, aumentando a disponibilidade hídrica, diminuindo a resistência do solo à penetração de raízes e aumentando a aeração do solo, com consequências na melhoria do carbono orgânico do solo e produção.

A melhoria estrutural no Latossolo promoveu condições biofísicas adequadas para o melhor desenvolvimento da cultura, o que contribuiu para o aumento de produtividade.

5 REFERÊNCIAS

AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SOUZA, T. T. T.; VASCONCELOS JUNIOR, A. I. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, v. 105, p. 122-127, 2009.

BLANCHART, E.; ALBRECHT, A.; CHEVALLIER, T.; HARTMANN, C. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of Vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v. 103, p. 343-355, 2004.

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

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JÚNIOR, E.; ARAÚJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. **Scientia Agrícola**, v. 62, n. 3, p. 248-255, 2005

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

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**, 2.ed., Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 654p.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus.

Scientia Agrícola, v. 67, p. 448-453, 2010.

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**, v. 31, p. 863-873, 2007.

GONTIJO, I.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Atributos físico-hídricos de um latossolo de cerrado em diferentes posições de amostragem na lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2227-2234, 2008.

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potencial and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, v. 32, n. 2, p. 180-186, 1968.

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**, v. 25, p. 11-18, 2001.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 116-121, 2008.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 845-855, 2009.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v. 88, p. 279-285, 2006.

LIMA, V. M. P., MAGALHÃES, C. A. S., OLIVEIRA, G. C., LIMA, J. M. Structural quality of soils cultivated with coffee and pasture in an environmental protection area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 709-716, 2010.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, L. F. C. Intervalo hídrico ótimo e porosidade de solos cultivados em área de proteção ambiental do Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1087-1095, 2009.

MEDEIROS, J. C.; SILVA, A. P.; CERRI, C. E. P.; GIAROLA, N. F. B.; FIGUEIREDO, G. C.; FRACETTO, F. J. C. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no-till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. **Plant and Soil**, v. 338, p. 5-15, 2011

MULLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531-538, 2001.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo vermelho do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 291-299, 2003.

PENG, S. H.; HORN, R.; ZHANG, B.; ZHAO, Q. G. Mechanisms of soil vulnerability to compaction of homogenized and recompact Ultisols. **Soil and Tillage Research**, v. 76, p. 125-137, 2004.

REZENDE, A.V.; EVANGELISTA, A.R.; BARCELOS, A.F.; SIQUEIRA, G.R.; SANTOS, R.V.; MAZO, M.S. Efeito da mistura da planta de girassol (*Helianthus annuus* L.) durante a ensilagem do capim- elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) no valor nutritivo da silagem. **Revista Brasileira de Zootecnia / Brazilian Journal of Animal Science**, v. 31, p. 1932-1938, 2002.

RÜCKNAGEL, J.; BRANDHUBER, R.; HOFMANN, B.; LEBERT, M.; MARSCHALL K.; PAUL, R.; STOCK O.; CHRISTEN, O. Variance of mechanical precompression stress in graphic estimations using the Casagrande method and derived mathematical models. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 165-170, 2010.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 39-45, 2010.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA K.A.P.; SILVA, F.G. & FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in Latosols representative of the Cerrado Region: I - Relationships between soil physical attributes and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 773-782, 2011.

SHUKLA, M. K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 87, p. 194-204, 2006.

SIGMA PLOT, **Scientific Graphing Software**. Versão 10.0, San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

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

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

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

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

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, v. 16, p. 179-201, 1990.

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700p.

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**, 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**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v. 52, p. 223-232, 1999.

van GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 1403-1409, 2004.

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; McCULLOUGH-SANDEN, B.; MARKEGARD, G. Soil management effects on the nonlimiting water range. **Geoderma**, v. 114, p. 401-414, 2003.

ANEXOS

ANEXO A - DESCRIÇÃO DO PERFIL DO SOLO

A - Descrição geral

Perfil: 1

Data: 01/11/2008

Classificação SiBCS: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, Tb, A moderado, textura muito argilosa, fase cerrado tropical subcaducifólio relevo ondulado

Unidade de mapeamento: LVAd

Localização, município, estado e coordenadas: Sítio Cata-Vento, município de Itutinga, Minas Gerais, na região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos (MG). Coordenadas geográficas: 23K 7640016 0538715

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Terço superior da encosta (TSE) 10% de declividade

Altitude: 911 m

Litologia e formação geológica: Micaxistos do Grupo Andrelândia

Material originário: Produto da alteração de micaxistos

Pedregosidade: Ausente

Relevo local: Ondulado

Relevo regional: Ondulado/Forte ondulado

Erosão: Laminar ligeira

Drenagem: Fortemente drenado

Vegetação primária: Cerrado Tropical Subcaducifólio

Uso atual: Pastagem de *Coastcross* (*Cynodon* spp.) para fenação

Clima: Cwa - clima temperado húmido com inverno seco e verão quente

Pedoforma: Convexo/Côncavo

Descrito e coletado por: Geraldo César de Oliveira e Vico Mendes Pereira Lima

B - Descrição morfológica

Horizonte	Profundidade	Descrição
Ap	0-18 cm.	Cor seca: 5YR 4/6 – Vermelho-Amarelado Cor Úmida: 5YR 3/4 – Vermelho-Amarelado Muito argilosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares e fraca média granular; firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
AB	18-42 cm.	Cor Seca: 7,5YR 4/6 – Vermelho-Amarelado Cor Úmida: 7,5YR 4/4 – Vermelho-Amarelado Muito argilosa; fraca a moderada pequena e média blocos subangulares; firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
Bw1	42-80 cm.	Cor seca: 7,5YR 5/8 – Vermelho-amarelo Cor Úmida: 7,5YR 4/6 – Vermelho-amarelado Muito argilosa; fraca pequena subangulares; friável e firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
Bw2	80-95 cm.	Cor seca: 7,5YR 5/8 – Vermelho-amarelado Cor Úmida: 7,5YR 4/6 – Bruno-avermelhado-escuro Muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares que se desfaz em forte muito pequena granular; friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
BC	95-142 cm	Cor seca: 2,5YR 5/6 – Vermelho Cor Úmida: 2,5YR 4/7 – Vermelho-escuro Muito argilosa; fraca pequena e média blocos subangulares; friável a firme, plástico e pegajoso.
C	142-200 cm	Cor seca: 10R 4/8 – Vermelho Cor Úmida: 10R 4/7 – Vermelho-escuro Argilosa

Raízes: Comuns e média no Ap, AB; comuns e finas no Bw1; muitas e muito finas no Bw2; raras e finas no BC

Observações: tradagem até 340 cm; cascalho de 240 – 300 cm; forte presença de crostas

C – Análises físicas e químicas

Tabela 1A Granulometria, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF) do Latossolo Vermelho-Amarelo

Horiz.	Prof. cm	Areia -----g kg ⁻¹ -----	Silte	Argila	ADA %	IF %
A	0-18	130	240	630	4	94
AB	-42	120	210	670	4	94
Bw1	-80	100	190	710	8	89
Bw2	-95	100	230	670	17	75
BC	-142	100	320	580	51	25
C	-200	90	390	520	-	-

Tabela 2A pH em água, matéria orgânica (MO) e componentes do complexo sortivo do Latossolo Vermelho-Amarelo

Horiz.	pH	MO ¹ dag kg ⁻¹	P --mg dm ⁻³ --	K	Ca	Mg	Al	V ² ----%----	m ³
					----cmol _c dm ⁻³ ----				
A	5,2	2,7	2,0	23	2,5	0,6	0,3	38,7	9
AB	4,9	2,6	1,7	19	1,9	0,5	0,4	32,9	14
Bw1	4,9	2,2	1,4	16	0,9	0,3	0,3	23,7	19
Bw2	5,1	1,9	1,2	12	0,5	0,2	0,1	20,1	12
BC	5,1	0,5	1,2	12	0,5	0,2	0,1	20,1	12
C	5,2	0,2	1,0	3	0,2	0,1	0,1	15,0	25

1 - matéria orgânica (MO); 2 - saturação por bases (V); 3 – saturação por Al³⁺ (m)

Tabela 3A Ataque sulfúrico do Latossolo Vermelho-Amarelo

Horiz.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
-----%-----								
A	16,13	26,01	14,48	1,08	0,04	1,05	0,78	2,81
AB	15,04	27,31	14,48	1,22	0,03	0,93	0,70	2,95
Bw1	17,65	31,93	16,66	0,80	0,05	0,94	0,70	2,83
Bw2	15,78	29,10	15,65	1,28	0,03	0,92	0,69	2,90
BC	13,66	28,84	14,85	1,24	0,02	0,81	0,61	3,03
C	24,38	31,93	16,66	0,72	0,04	1,30	0,97	2,99

ANEXO B - FOTOS

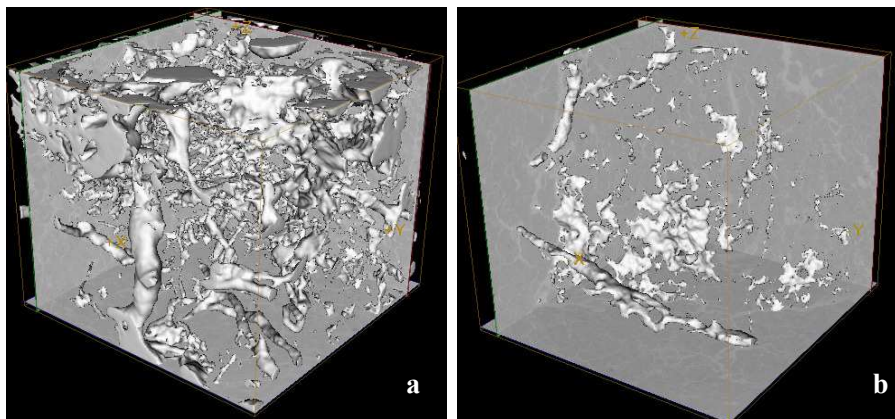


Figura 1B Imagem de tomografia computada de raios-x da camada superficial do solo (4,0 x 4,0 x 3,5 cm), no mês de novembro de 2010, nos tratamentos sem tráfego de máquinas agrícolas (a) e com tráfego de máquinas agrícolas (b), com destaque para a porosidade



Figura 2B Agregados formados durante o cultivo do *Coastcross*, em áreas sem tráfego de agrícolas (a), com destaque para a ação do sistema radicular na agregação do solo. Lago da hidroelétrica de Itutinga/Camargos (b), logo abaixo da área de *Coastcross* do Sítio Cata-Vento