

# Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo: uma revisão

ISSN 1517-2627

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 100**

### **Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo: uma revisão**

*Guilherme Kangussú Donagemma  
João Herbert Moreira Viana  
Alúísio Granato de Andrade*

Rio de Janeiro, RJ  
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto:sac@cnps.embrapa.br)

**Comitê Local de Publicações**

**Presidente:** Aluísio Granato de Andrade

**Secretário-Executivo:** Antônio Ramalho Filho

**Membros:** Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline S. Rezende Mattos, Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio F. da Motta, Vinícius de Melo Benites, Rachel Bardy Prado, Maria de Lourdes Mendonça Santos, Pedro Luiz de Freitas.

**Supervisor editorial:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**Revisor de Português:** *André Luiz da Silva Lopes*

**Normalização bibliográfica:** *Ricardo Arcanjo de Lima*

**Editoração eletrônica:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**1ª edição**

1ª impressão (2007): online

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

D674p Donagemma, Guilherme Kangussú.

Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo: uma revisão / Guilherme Kangussú Donagemma, João Herbert Moreira Viana e Aluísio Granato de Andrade. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2007. 69 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 100)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html> > .

Título da página da Web (acesso em 21 dez. 2007).

1. Atributos físicos do solo 2. Qualidade do solo. 3. Sustentabilidade. I. Viana, João Herbert Moreira. II. Andrade, Aluísio Granato. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 631.43

---

© Embrapa 2007

## **Autores**

**Guilherme Kangussú Donagemma**

Pesquisador Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico,  
1024. CEP: 22460-000. Rio de Janeiro, RJ.  
donagemma@cnps.embrapa.br

**João Herbert Moreira Viana**

Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo. Rod. MG. 424 -  
Km 45, Sete Lagoas-MG. CEP: 35701-970  
jherbert@cnpms.embrapa.br

**Alúcio Granato de Andrade**

Pesquisador Embrapa Solos.  
aluisio@cnps.embrapa.br

# **Apresentação**

O estudo das propriedades físicas em resposta ao manejo dos solos tropicais é fundamental para a sustentabilidade da agricultura no Brasil.

Este trabalho apresenta um estado da arte dos estudos dos efeitos de sistemas de preparo e manejo sobre as propriedades físicas dos solos tropicais.

Por fim, este trabalho auxilia a direcionar novas pesquisas sobre a alteração das propriedades físicas do solo em resposta ao manejo, visando o uso sustentável dos solos.

Celso Vainer Manzatto  
Chefe Geral Embrapa Solos

# Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Sistemas de manejo dos solos: conceitos</b> .....	<b>13</b>
2.1. Sistema de plantio direto .....	13
2.2. Sistema convencional de manejo do solo .....	14
<b>3. Revisão de literatura</b> .....	<b>16</b>
3.1. Agregação do solo .....	22
3.2. Densidade do solo e porosidade .....	23
3.3. Estabilidade de agregados .....	26
3.4. Compressibilidade do solo .....	31
3.5. Argila dispersa em água .....	34
3.6. Resistência à penetração .....	37
3.7. Infiltração e retenção de água .....	40
3.8. Indicadores de qualidade do solo .....	44
3.9. Lixiviação de nutrientes e pesticidas .....	47
<b>4. Considerações finais</b> .....	<b>49</b>
<b>5. Referências bibliográficas</b> .....	<b>50</b>

# Propriedades físicas do solo influenciadas por sistemas de preparo e manejo: uma revisão

---

*Guilherme Kangussú Donagemma*

*João Herbert Moreira Viana*

*Alúísio Granato de Andrade*

## Resumo

A intensa atividade agropecuária sobre o solo, utilizando o sistema de preparo do solo convencional (aração e gradagem), tem levado à degradação das suas propriedades físicas. Assim, é necessário intensificar as atividades de pesquisa para que se possa conhecer melhor essa degradação, bem como para desenvolver e aperfeiçoar práticas de manejo que propiciem a manutenção, melhoria e/ou recuperação dessas propriedades, e alcançar sustentabilidade ambiental e econômica para a atividade agropecuária. O presente trabalho apresenta uma revisão sobre o efeito de sistemas de preparo e manejo sobre as propriedades físicas do solo. É apresentado o estado da arte desse tema e são apontados temas de pesquisas que devem ser estudados, visando a melhoria da qualidade do solo e a sustentabilidade da atividade agropecuária.

**Palavras-chave:** atributos físicos do solo, qualidade do solo, sustentabilidade, plantio direto, escarificação, manejo do solo.

# Soil physical properties affected by tillage and management systems: a review

---

## Abstract

Intensive agricultural activities on soil, using conventional tillage systems (ploughing and harrowing), led to the degradation of its physical properties. It is necessary to increase the research to achieve a better knowledge about this issue, as well as to develop and to improve management techniques, able to maintain, improve and recover these properties, and to reach the environmental and economic sustainment. This work presents a review about the effect of tillage and management systems on soil physical properties. The state-of-art of this issue is presented, and themes for research are proposed, aiming the improvement of soil quality, and the environmental and economic sustainable.

***Index terms:*** physical properties, no-tillage, soil quality, sustainability.

## **1. Introdução**

A atividade agrícola, em geral, leva a enriquecer o solo quimicamente e degradar fisicamente. A degradação da estrutura do solo em áreas agrícolas é causada pela compactação, decorrente da pressão dos pneus dos tratores e das partes rodantes e ativas dos implementos sobre o solo, durante as operações de preparo, plantio, tratos culturais e colheita. Estes fatores são acentuados em áreas declivosas, onde o solo é mais susceptível à erosão. Mesmo em sistemas onde são realizados preparos reduzidos do solo, como no plantio direto, que favorece a estruturação do solo e promove a sua cobertura, contribuindo desta forma para a redução do processo erosivo, o uso intensivo pode levar a uma compactação superficial do solo, e consequentemente aumentar sua resistência à penetração. Assim, o monitoramento da qualidade da estrutura do solo, avaliado através das suas características físicas (resistência à penetração, estabilidade de agregados, condutividade hidráulica, dentre outras), é de suma importância, e estas características podem ser utilizadas como indicadoras da sustentabilidade destes processos, auxiliando na identificação do uso mais adequado do solo. Diante do exposto, o objetivo desta revisão é mostrar o efeito do uso do solo nas suas propriedades físicas.

## **2. Sistemas de manejo dos solos: conceitos**

A conceituação dos manejos do solo é importante para termos claro o que significa determinado manejo e para identificarmos se o que se aplica na prática está dentro dos conceitos que entende-se serem adequados.

### **2.1. Sistema de plantio direto**

O Sistema Plantio Direto é definido como o sistema de manejo no qual a implantação da cultura é feita sobre restos de culturas anteriores com a rotação de culturas e com a movimentação do solo restrita à linha de semeadura (Figura 1). Compreende um conjunto de técnicas integradas visando a redução de custos, a promoção da sustentabilidade ambiental, permitindo interações biológicas e processos naturais benéficos no solo, melhorando as condições ambientais (água-solo-clima) para explorar da melhor forma possí-

vel o potencial genético de produção das culturas em condições tropicais com o menor impacto ambiental possível (FREITAS, 2005). Esse mesmo autor ressalta ainda que o SPD não deve ser visto como uma receita universal, mas como um sistema que exige adaptações desde que respeitados três requisitos mínimos: i) o não revolvimento do solo; ii) a rotação de culturas (diversidade de biomassa vegetal e diversificação da biota do solo) e a integração entre as atividades agrícola e pecuária – integração lavoura-pecuária; e iii) o uso de culturas de cobertura para formação de palhada (proteção do solo contra sol, chuva e ventos e conservação de água e nutrientes), associada ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.



Figura 1 - Sistema de plantio direto de Soja (foto: Claudio Capeche).

## 2.2. Sistema convencional de manejo do solo

É o sistema de manejo do solo onde o preparo é realizado com revolvimento da área total do solo. Em geral, são realizadas duas arações (Figura 2) e uma gradagem (Figura 3). O objetivo é deixar o solo descompactado em condições

das raízes crescerem. Além disso, com o tombamento da terra, inverte a camada superficial colocando-a mais abaixo, esse procedimento favorece o controle de algumas plantas daninhas. O manejo envolve também, em geral, a ciclagem na área toda e adubação no sulco ou na cova de plantio. Assim como se realiza o controle de plantas daninhas utilizando herbicidas e/ou roçadas manuais ou mecanizadas.

Por outro lado, se realizado de forma inadequada, esse sistema leva à formação de camadas compactadas na profundidade onde passam os implementos, é o chamado “pé de arado” ou “pé de grade”, o que constitui impedimento mecânico ao crescimento das raízes, podendo levar a redução na produtividade das culturas. Além disso, o solo fica exposto ao impacto direto da gota de chuva, o que favorece a erosão.



Figura 2 - Aração (foto: Claudio Capeche).



Figura 3 - Gradagem.

### 3. Revisão de literatura

A capacidade que o solo apresenta em prover ao sistema radicular condições físicas adequadas para seu crescimento e para o desenvolvimento das plantas é denominada qualidade física do solo. Os atributos físicos do solo diretamente relacionados com o crescimento das plantas são: a retenção de água, a aeração e a resistência à penetração das raízes (LETEY, 1985). Estes atributos são influenciados pela textura e estrutura do solo, e pelas práticas de manejo adotadas.

O solo, ao passar de uma condição natural, como em um ambiente de floresta, para uma condição de cultivo, sofre modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo mais afetado quanto maior for a intensidade do seu preparo. Segundo Costa et al. (1996), com o cultivo do solo, em geral, as propriedades químicas são melhoradas e as físicas deterioradas. As principais alterações físicas do solo, em resposta ao uso, são percebidas pela redução dos macroporos, do tamanho de agregados, da taxa de infiltração de

água e do aumento da densidade do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Estas formas de alteração física são indicadoras de um problema de grande relevância, a compactação dos solos. Este fenômeno é inerente ao uso do solo, mas sua magnitude decorre dos diferentes sistemas de manejo empregados para este fim.

Dentre os sistemas de manejo praticados nas diversas zonas agrícolas do país, os cultivos convencional, mínimo e plantio direto têm sido os mais utilizados.

De maneira geral, o cultivo convencional emprega técnicas de preparo do solo como aração e gradagem, dentre outras, utilizando máquinas e implementos pesados que, devido à frequência com que são utilizadas, pulverizam e compactam o solo, principalmente em subsuperfície. Por outro lado, nos sistemas de preparo mínimo e direto, o uso de máquinas e implementos é menos frequente, garantindo que o solo seja pouco revolvido e não sofra constantes pressões. No cultivo mínimo, emprega-se implementos como o escarificador, que promove uma leve escarificação na superfície do solo. No plantio direto, é feito preparo somente na linha de plantio. Desta forma, nestes sistemas os efeitos da compactação em subsuperfície são minorados.

Na área de manejo de solos, diversos são os trabalhos que avaliam e comparam os efeitos do uso dos solos em suas propriedades físicas, sendo os mais comuns aqueles que comparam o sistema de preparo do solo convencional com o direto. Nesse sentido, Tormena e Roloff (1996) avaliaram o efeito de preparo convencional e plantio direto nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho argiloso em Ponta Grossa - PR. Esses autores mostraram que o efeito dos implementos e do tráfego se restringe aos primeiros 20 cm do solo. No sistema de plantio direto, o efeito mais pronunciado na formação de camada compactada foi na profundidade de 0 - 5 cm.

O efeito da escarificação sobre propriedades físicas do solo tem sido estudado por diversos autores. A escarificação tem por objetivos reduzir a densidade do solo e a resistência à penetração e reduzir o encharcamento em terrenos planos (DALLA ROSA, 1981). Os efeitos benéficos da escarificação

sobre o solo são temporários, e tendem a se reduzir com o passar do tempo. Contudo, o efeito residual da escarificação tem sido observado com o passar dos anos. Pierce et al. (1992), estudando os efeitos de sistemas de preparo sobre as propriedades físicas de um *Typic Applaudalf* (Neossolo flúvico, pela classificação brasileira) franco arenoso em East Lansing nos Estados Unidos, verificaram a redução da densidade, após a operação de escarificação, a uma profundidade de 35 cm. Efeitos residuais na densidade e porosidade total foram observados após dois anos do estudo. Nesse sentido, Machado et al. (1997) estudaram o efeito da escarificação nas propriedades físicas de um solo de várzea (*Planossolo solódico*), com vistas à implantação de outras culturas além do arroz irrigado. Concluíram que a escarificação reduziu a densidade do solo e a microporosidade, e elevou a porosidade total, a macroporosidade e a estabilidade dos agregados, melhorando assim as condições físicas do solo.

Díaz Acuna (1998), trabalhando com um *Latossolo Vermelho Escuro*, textura argilosa, cultivado com trigo, soja e aveia por 8 anos em Ponta Porã - MS, avaliou o efeito de sistemas de manejo de solo (plantio direto, grade pesada e escarificador), sobre as suas propriedades químicas e físicas. Este autor concluiu que o sistema de preparo do solo com escarificador proporcionou, de forma global, melhores condições físicas ao solo em relação aos sistemas de plantio direto e grade pesada.

Camara e Klein (2005) estudaram os efeitos de plantio direto e plantio direto com escarificação sobre um *Latossolo Vermelho distrófico típico* argiloso, com as seguintes sequências de culturas: 1997/98 soja-trigo, 1998/99 soja-aveia, 1999/2000 milho-aveia, 2000/01 soja-aveia, 2001/02 milho silagem e milho. Concluíram que a escarificação esporádica em sistema de plantio direto proporciona condições mais favoráveis ao desenvolvimento de plantas. Os autores atribuíram este fato à redução na resistência mecânica à penetração, e a não redução do teor de matéria orgânica.

Vellajos Mernes (1998), trabalhando com plantio direto, arado de aiveca, arado de disco, grade pesada mais arado de aiveca, grade pesada mais arado de disco e grade pesada em um *Argissolo Vermelho Amarelo*, do município de

Coimbra - MG, observou que as alterações nas propriedades físicas do solo, provocadas pelos sistemas de manejo, não atingiram as magnitudes encontrados na literatura para densidade do solo, resistência à penetração de raízes e porosidade total. Segundo o autor, este fato deveu-se, provavelmente, às propriedades do solo estudado e ao pouco tempo de uso com plantio direto. Por outro lado, os resultados de micromorfologia deste mesmo trabalho mostraram que, no sistema de plantio direto, havia continuidade do sistema poroso, enquanto que nos sistemas convencionais os poros eram planares, ou seja, paralelos à superfície, denotando a formação de camadas compactadas nesse sistema, em função da passagem continuada de implementos na mesma profundidade.

As conclusões mencionadas anteriormente permitem inferir que o efeito de sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo depende da classe de solo, do tipo e intensidade de preparo e do tempo percorrido após a implantação de um sistema de preparo. Bem como o histórico de uso.

McGarry et al. (2000) identificaram as possíveis razões para a melhor resposta do solo e da cultura às condições de manejo sem preparo, em um Vertissolo argiloso. Os tratamentos usados foram: sem preparo e com preparo convencional (34 operações). Através de análises micromorfológicas, verificaram continuidade da porosidade no sistema sem preparo, da superfície até a profundidade na seção analisada (2 cm), em contraste com o sistema com preparo convencional do solo, que tinha alta densidade da crosta superficial até 0,15 m. Por outro lado, Lal (1999) quantificou os efeitos de três métodos de manejo (aração, arado de disco, com mínimo preparo e plantio direto) com cultivo de milho, durante 25 anos, sobre um solo aluvial argiloso e um Alfissolo franco siltoso em Ohio nos EUA (essa classe de solo do sistema americano não tem correspondente direto no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2006). Esse autor concluiu que 25 anos de cultivo contínuo do milho, em sistema de plantio direto, não apresentaram efeito deletério nas propriedades físicas do solo.

De um modo geral, o tráfego tem sido o fator mais determinante na alteração das propriedades físicas do solo (densidade do solo, porosidade total,

macroporosidade, microporosidade) (TORMENA et al., 1998; GYSI, 2000; LI et al., 2001). O estudo dos efeitos de fatores como calagem e intensidade de revolvimento de solo, nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Escuro de Ponta Grossa, cultivado com soja, foi realizado por Tormena et al. (1998). Esses autores observaram que a calagem não mostrou efeito prejudicial ao solo. Por outro lado, o tráfego aumentou a densidade do solo, reduzindo a porosidade e o conteúdo de água retido entre os potenciais -0,006 e 0,5 Mpa, o que trouxe redução à produção de soja. Desta forma, os autores concluíram que o tráfego foi o principal fator de alteração das propriedades em estudo. Li et al. (2001) observaram, para um solo argiloso da Austrália (no artigo o autor não registrou a classe do solo), que o tráfego de pneu, mais que o sistema de manejo empregado, foi o fator que governou a compactação e com isso, a infiltração de água do solo. Além disso, a exclusão do tráfego intenso, aplicando-se tráfego controlado, combinado com plantio direto, aumentou a sustentabilidade do cultivo, aumentando a infiltração de água, a água disponível e reduzindo a erosão.

O impacto das passadas de uma máquina na colheita da beterraba, sobre as propriedades de um cambissolo não arado na Suíça, foi estudado por Gysi et al. (2000). Esses autores detectaram compactação do solo na profundidade de 15 - 25 cm, em função do maquinário, através do aumento da densidade do solo e da pressão de pré-consolidação, bem como redução da porosidade total e da macroporosidade. A compactação também foi calculada através de um modelo que considera a matriz do solo, poros com água e poros com ar, através de valores determinados. Esse estudo mostra que o peso do tráfego de pneu e a adequabilidade do modelo de predição podem descrever o processo de compactação. Já Yavuzcan (2000) estudou o efeito de sete sistemas de manejo, e subsequente tráfego de pneus, nas propriedades físicas e mecânicas de um Cambissolo franco argiloso da Austrália. O tráfego aumentou a resistência à penetração de 3 para 74%, para a profundidade de 0 - 10 cm, e de 7 para 33%, para a profundidade de 10 - 20 cm. O estresse durante a passagem do pneu foi altamente correlacionado com a resistência à penetração do solo.

Apesar do sistema de plantio direto contribuir para reduzir a erosão do solo,

uma vez que são deixados restos vegetais sobre o solo protegendo-o do impacto direto da gota de chuva (PIKUL; ASAE, 1995; HERNANI et al., 1997; BERTOL et al., 1997), vários autores (SARVASI, 1994; ZIMBACK et al., 1996; KLEIN, 1996; DAO, 1996; SILVEIRA et al., 1997; VELLAJOS MERNES, 1998) detectaram, por meio da resistência à penetração de raízes, uma compactação superficial do solo sob esse sistema. Esta compactação superficial tem sido um dos maiores problemas enfrentados pelos agricultores nos primeiros anos de uso, levando alguns a voltar ao plantio convencional. A escarificação, ainda que tenha efeito temporário, constitui uma forma de se solucionar esse problema. Existem trabalhos que mostram que a escarificação aumenta o rendimento das culturas (DIAZ ACUNA 1998; CÂMARA; KLEIN, 2005). Nessa direção, Camara e Klein (2005) estudaram os efeitos de plantio direto e plantio direto com escarificação sobre um Latossolo Vermelho distrófico típico em Passo Fundo. Concluíram que a escarificação esporádica em sistema de plantio direto melhora as condições para o desenvolvimento de plantas comparada com o plantio direto contínuo sem escarificação. Por outro lado, Secco et al. (2005) estudaram o efeito de cinco sistemas de preparo: plantio direto contínuo (PDC), plantio direto com escarificação a cada três anos (PDSD), plantio direto no verão com escarificação outono/inverno (PDV), preparo conservacionista escarificador mais grade niveladora (PCEG), plantio convencional (arado de disco mais grade niveladora), ao longo de três anos consecutivos, sobre os atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico e na produtividade das culturas da soja, trigo e milho. Concluíram que a escarificação nas áreas com plantio direto não influenciou na produção das culturas e nos atributos físicos do solo. As produtividades das culturas do milho e da soja não diferiram entre os sistemas utilizados, indicando que a mudança no estado estrutural do solo não comprometeu sua produtividade. A cultura do trigo se mostrou sensível ao estado estrutural do solo, com sistemas de preparo com maior mobilização (PCEG) proporcionando condições mais adequadas a esta cultura. A densidade do solo apresentou valores maiores nos tratamentos com menor mobilização do solo (PDC e PSDS). Esses resultados indicam que, embora haja compactação superficial do solo em sistema de plantio direto, a produtividade de algumas culturas não é comprometida (milho e soja).

Embora existam inúmeros estudos que comparam efeitos de sistemas de preparo e manejo do solo sobre suas propriedades físicas, poucos são aqueles que incluem um tratamento referência sob vegetação natural. Nesse contexto, Anjos et al. (1994) estudaram quatro classes de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo alíco com A húmico, Cambissolo alíco com A húmico, Cambissolo Bruno alíco com A húmico, e Argissolo Vermelho distrófico, sob mata nativa, preparo convencional, plantio direto, cultivo convencional com subsolagem e pastagem nativa, nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm, e observaram aumento da densidade do solo em relação à mata nativa, com exceção do Argissolo. Segundo esses autores, as diferenças na densidade de partículas foram em geral pequenas, e a porosidade total foi afetada pelos sistemas de manejo.

Da Rosa (1998), trabalhando com um Latossolo Roxo (LR) de Santa Helena - GO, sob plantio direto irrigado e sequeiro, e sob mata, observou por meio dos resultados de porosidade, resistência ao penetrômetro e densidade do solo, que houve aumento da compactação do solo no sistema de plantio direto, quando comparado com o solo sob vegetação de mata. Ressaltou ainda que a densidade do solo se mostrou uma boa variável para avaliação da compactação no LR.

Apesar de diversas vantagens que o plantio direto pode trazer ao solo, uma questão preocupante é a possibilidade de um favorecimento ao crescimento superficial de raízes, em função de melhores condições na superfícies (maior retenção de água, acúmulo de nutrientes, entre outros), como mostrado por Ball-Coelho et al. (1998), Mello Ivo et al. (1999) e De Maria et al. (1999), obtiveram maior densidade de comprimento de raiz ( $\text{cm.cm}^3$ ), na camada mais superficial de solo. Isso é preocupante, sobretudo para solos muito porosos, e em regiões mais sujeitas a veranicos, onde pode ocorrer um déficit hídrico na estação chuvosa, que pode comprometer a produtividade em razão das raízes estarem superficiais.

### **3.1 Agregação do solo**

Associado ao efeito de sistemas de preparo de solo, diversos autores têm avaliado o efeito da rotação de culturas sobre as propriedades físicas do solo,

principalmente sobre a estabilidade de agregados do solo sob plantio direto. Nesta linha de trabalho, Alemu et al. (1997) e Arshad et al. (1998) observaram aumento da percentagem de classe de agregados de maior diâmetro, e efeito benéfico de cobertura de solo, reduzindo a erosão em um Paleustoll (pelo nosso sistema é um Shernossolo argiluvico órtico típico) em Bushland no Texas, Estados Unidos da América.

O conhecimento da resposta do solo, no curto prazo, ao sistema de preparo do solo, também tem sido investigada. Nessa direção, Krzic et al. (2000) estudaram a resposta das propriedades físicas do solo em curto espaço em um Gleissolo, em western Fraser Valley in British Columbia no Canadá. Esses autores usaram os seguintes sistemas de manejo: preparo de verão e primavera, preparo de verão e sem preparo na primavera usando aveia na primavera e trigo de inverno. Observaram que a redução nas operações de preparo do solo não melhoraram as condições físicas do solo para o crescimento de plantas em clima marítimo úmido, comparado com os sistemas que envolveram maior revolvimento do solo.

### **3.2. Densidade do solo e porosidade**

Segundo Kiehl (1979), as amplitudes de variação das densidades do solo situam-se dentro dos seguintes limites médios: solos argilosos, de 1,00 a 1,25 g.cm<sup>-3</sup>; solos arenosos, de 1,25 a 1,40 g.cm<sup>-3</sup>; solos humíferos, de 0,75 a 1,00 g.cm<sup>-3</sup>; solos turfosos, de 0,20 a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>.

Com a introdução no sistema de forças externas, com o manejo, pode ocorrer a compactação do solo, e, assim, os valores de densidade podem aumentar e alcançar valores prejudiciais ao crescimento das raízes da maioria das culturas. Contudo, este efeito vai depender, dentre outros fatores, da espécie de planta e da umidade do solo. No sistema de plantio direto, em geral, a compactação do solo na superfície tem sido, para os produtores, um consenso como problema nos primeiros anos de conversão do cultivo convencional para o plantio direto. Assim, Logsdon e Cambardella (2000) objetivaram determinar se mudanças na densidade do solo em profundidade, na transição de sistema convencional para plantio direto, eram tão grandes quanto a própria variação natural, na região de central Iowa no Estados Unidos da

América. Coletaram amostras em sistema plantio direto e com plantio convencional (arado de disco) em seis localidades, ambas com a rotação soja – milho . Os tipos de solos amostrados foram: Neossolo flúvico textura franca-argilosa, Neossolo flúvico textura franca-argilosa e solo calcário textura franca-argilosa. Em relação à densidade do solo, não houve diferença significativa em profundidade para o sistema de plantio direto. Entretanto, no convencional, foi detectado incremento significativo. Os autores observaram que causas naturais contribuem para mudanças na densidade ao longo do tempo, no campo. Nenhum dos valores de densidade foram suficientes para restringir o crescimento das espécies cultivadas nesse trabalho. Os autores concluíram que o consenso sobre compactação no sistema de plantio direto não é apropriado para os solos estruturados. Nesse sentido, pesquisas realizadas por diversos autores (URCHEI, 1996; CANALLI; ROLOFF, 1997; De MARIA et al., 1999; TREBRUGGE; DURING, 1999; SILVA et al., 2000), em diferentes solos, mostram que as áreas com plantio direto apresentam, em geral, valores mais elevados de densidade do solo e microporosidade nas camadas superficiais do perfil, comparativamente ao solo sob sistema convencional, com redução dos valores de macroporosidade e porosidade total. Isto se dá em razão, principalmente, do não revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas sistematicamente, como observado por Tormena et al. (1998), sobretudo quando realizados em solos com proporção mais elevada de argila. Por outro lado, Baldissera et al. (1994), Dao (1996) e Silva et al. (2000) observaram a redução da densidade no plantio direto comparado ao convencional. Isto estaria, de acordo com Dao (1996), relacionado à manutenção de elevadas quantidades de resíduos de trigo, o que levou ao aumento da macroporosidade na superfície, sob plantio direto. Este autor ressalta ainda que a remoção de resíduos culturais levou a um aumento da densidade do solo.

Vários autores têm estudado o comportamento da porosidade, em resposta a diferentes sistemas de manejo. Secco et al. (1997), em um Latossolo Vermelho Escuro argiloso em Cruz Alta-RS, encontraram porosidade total de 0,53 e 0,57  $m^3.m^{-3}$ , macroporosidade de 0,20 e 0,29  $m^3.m^{-3}$  e microporosidade de 0,32 e 0,28  $m^3.m^{-3}$ , para plantio direto e manejo convencional respectivamente, na profundidade de 7 cm. Já Da Ros et al. (1997), em estudo e solo

semelhantes, encontraram porosidade total de  $0,52\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ , macroporosidade de  $0,19\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ , para plantio direto e convencional respectivamente, não verificando diferenças significativas entre os manejos.

Tebrugge e During (1999) fizeram uma revisão sobre o impacto de diferentes sistemas de preparo sobre as propriedades e qualidade do solo na Alemanha. Mostraram que os solos sob preparo reduzido eram, por muitos anos, mais resistentes à passagem de veículos. Consequentemente, a compactação por tráfego era mais baixa. Além disso, as curvas de resistência à penetração indicaram uma uniformidade de estabilidade estrutural depois de muitos anos de plantio direto. Os autores concluíram que se a rotação de culturas, o maquinário e a proteção de plantas são bem adaptadas para o sistema conservacionista, que o sistema de plantio direto poderia substituir o convencional em muitos casos na Alemanha.

O efeito do tempo de cultivo com plantio direto, comparado com cultivo convencional, sobre as propriedades físicas do solo, tem sido realizado por alguns autores. Nesse sentido, Silva et al. (2008) avaliaram o efeito do tempo de adoção do sistema de plantio direto (2, 4 e 6 anos) sobre algumas propriedades físicas do solo: macro porosidade, micro porosidade, porosidade total, densidade do solo, diâmetro médio ponderado de agregados, comparativamente com mata nativa em um Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa de Jaboticabal. Concluíram que seis anos de plantio direto foi suficiente para melhorar as propriedades físicas, mas não foi suficiente para melhorar a qualidade física como um todo comparado com a mata nativa. Por outro lado, Vandenbygaart et al. (1999) avaliaram a influência do tempo decorrido desde a implantação do plantio direto, de 4, 6 e 11 anos, em comparação ao preparo convencional, na camada superficial do solo, por meio de micromorfologia em um Luvisol franco siltoso (Luvissolo pelo nosso Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2006) em Southwestern Ontario no Canadá. Os autores observaram que, próximo à superfície, no plantio direto com 4 e 6 anos, o solo apresentava uma estrutura em forma laminar, que deve ter sido resultado de processos de compactação ou congelamento. Contudo, para 3 - 4 cm de profundidade com 11 anos já havia uma estrutura granular, que favorecia a emergência e crescimento da cultura. A análise de

imagem de morfologia de poros desse trabalho mostrou ainda que, com mais de 4 anos de plantio direto, existe o desenvolvimento de um número maior de poros com diâmetro equivalente de 100 a 1000  $\mu\text{m}$ , comparado ao convencional. Os resultados desses autores sugerem que, para o solo e região estudados, os efeitos benéficos do plantio direto começam a se manifestar realmente a partir de 4 anos da implantação do sistema, o que, muitas vezes, vai demandar, além da técnica, a consciência conservacionista e perseverança por parte do agricultor para o sucesso do sistema. De acordo com os resultados dos diferentes autores citados anteriormente, percebe-se então que tempo de adoção do plantio direto que leva a melhoria da qualidade do solo depende não só do tempo em si, mas do sistema envolvendo o tipo de rotação empregada, o tipo de solo e a região (o clima). Além disso, observando os resultados em clima temperado e em clima tropical, parece que em clima tropical o tempo de adoção para melhoria das propriedades físicas deva ser maior, em função da intensidade dos processos de formação do solo, sobretudo, perda e adição nos trópicos ser muito maior, por exemplo é mais difícil, de um modo geral acumular matéria orgânica, que é fator primordial para recuperação da estrutura do solo, e por consequência das propriedades físicas relacionadas com esta.

### 3.3. Estabilidade de agregados

Estudos do efeito de sistemas de preparo sobre a agregação do solo, em geral, são de longa duração. Contudo, poucos são os trabalhos que consideraram a variação em curtos períodos, e com a realização de várias medições ao longo do tempo. Estudos envolvendo períodos curtos também são interessantes, uma vez que, ciclos de umedecimento e secagem, e a taxa de renovação do sistema radicular das culturas, entre outros fatores, variam no curto prazo, e são de grande importância na formação de agregados do solo e, conseqüentemente, na formação da estrutura. Portanto, a quantificação da variação temporal da estabilidade estrutural é necessária para maior compreensão do efeito do manejo sobre a estrutura do solo. A estabilidade de agregados, medida em diferentes períodos do ano, reflete uma integração de todos os processos relacionados com a agregação do solo (KAY, 1990). Além disso, a avaliação do efeito do clima reflete a variação dos ciclos de umedecimento e secagem, os quais afetam a agregação. As flutuações

estacionais sobre a estabilidade são muitas vezes maiores que as mudanças devidas ao manejo, e podem mascarar o efeito desse fator (PERFECT et al., 1990). Neste sentido, Werner e Werner (2001) compararam o efeito da inversão do solo por arado de aiveca na formação do chamado “pé de arado”, em um Luvisolo argilo – siltoso, com o mesmo solo cultivado sem a passagem de pneu, onde se manteve o solo na capacidade de campo, usando os seguintes tratamentos: leve (2x 2.5 t); número de vezes de passadas do pneu; médio (2 x 5 t) e alto (6 x 5 t). Os resultados mostraram que a re-agregação por ciclos de umedecimento e secagem é a chave do processo nesse solo argilo - siltoso estudado, na iniciação da recuperação da estrutura do solo, e que a formação de bioporos é menos importante. Contudo, o mecanismo de quebra da estrutura por processos físicos não permite a reprodução de uma estrutura intacta.

O efeito de sistemas de preparo do solo sobre a agregação do solo foi estudado por Silva e Mielnikzuk (1997), trabalhando com um Latossolo Roxo, um Latossolo Vermelho Escuro textura média e um Podzólico Vermelho Escuro textura argilosa em Porto Alegre-RS. Observaram duas situações distintas, uma representada pelas áreas sob cultivo com culturas anuais e mata, nos quais a agregação do solo aumenta com a elevação do carbono orgânico, e outra representada pela área sob gramíneas perenes, cujo teor de carbono, isolado, não é suficiente para explicar a quantidade elevada de agregados estáveis formados. O elevado diâmetro médio ponderado dos agregados nas áreas cultivadas, obtidos por peneiramento via seca, deve ter sido consequência da formação de agregados por aproximação das partículas provocada pela ação compressiva de máquinas e implementos agrícolas, uma vez que, quando umedecidos, a entrada de água nesses arranjos, associada à ação mecânica do peneiramento, foram suficientes para desfazer as ligações entre os mesmos.

O efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo (LR) distrófico textura argilosa de Campinas-SP foi estudado por Lucarelli et al. (1998). Observaram que os tratamentos *escarificador*, *plantio direto* e *roçado* são aqueles que revelaram o melhor desempenho quanto à distribuição do tamanho dos agregados, sobretudo no horizonte Ap, o qual é

mais suscetível às alterações impostas pelo manejo. O diâmetro médio ponderado foi igual ou maior que 2,5 mm, confirmando que o pouco revolvimento e a manutenção dos resíduos vegetais podem influenciar a estabilidade da estrutura do solo, uma vez que a vegetação e os resíduos protegem os agregados do impacto direto das gotas de água e das variações bruscas de umidade, além de contínuo fornecimento de material orgânico, que atua na estabilização dos agregados. O *roçado* foi o tratamento que apresentou o melhor desempenho em termos da distribuição do tamanho de agregados. Isto está relacionado com a vegetação ali estabelecida, que propicia um enraizamento denso, em contraposição aos sistemas que revolveram o solo, que evidenciaram maior quantidade de agregados de tamanho reduzido, principalmente pela ação mecânica do implemento. Nesse sentido, Da Ros et al. (1997) avaliaram a forma e estabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho Escuro, a partir de campo nativo, sob PD sem calagem, PD mais calagem, PD com escarificação a cada 3 anos, PD mais escarificação no inverno, PD mais escarificação no inverno e no verão, PC com rotação de implementos e testemunha (campo nativo). Observaram que, quanto maior a intensidade de preparo, menor a porcentagem de agregados da classe de maior tamanho com consequente aumento das classes de menor tamanho.

Vellajo Mernes (1998), realizando trabalho com Podzólico Vermelho Amarelo câmbico de Viçosa-MG sob Plantio direto (PD), arado de aiveca (AA), arado de disco (AD), grade pesada mais arado de aiveca (GP + AA), grade pesada + arado de disco (GP + AD) e grade pesada (GP), observou também que o plantio direto apresentou maior estabilidade de agregados. Ressalta ainda que as alterações provocadas pelos sistemas de manejo sobre as propriedades físicas não atingiram os limites encontrados na literatura, em razão, provavelmente, das propriedades do solo estudadas e ao pouco tempo de uso com plantio direto.

A agregação de um Latossolo Vermelho distrófico típico em diversos sistemas de manejo, na região dos cerrados de Sete Lagoas (MG) foi avaliada por Beutler et al. (2001). O solo foi amostrado nas profundidades de 0 - 5 , 5 - 20 e 20 - 30 cm. Os sistemas de preparo foram: preparo convencional com grade aradora e cultivo contínuo com milho; preparo convencional e cultivo

contínuo com milho; preparo convencional e cultivo contínuo com rotação milho e feijão; plantio direto e cultivo contínuo de milho; plantio direto e cultivo contínuo milho e feijão e cerrado nativo. Concluíram que o sistema de plantio direto apresentou maior porcentagem de agregados da classe  $> 2,00$  mm e as menores porcentagens da classe  $< 2,00$ mm e  $< 1,00$  mm, bem como o maior diâmetro médio de agregados na superfície do solo, em comparação com os outros sistemas de preparo. Nas camadas sub-superficiais, não houve diferença entre os sistemas de manejo.

A relação entre estabilidade de agregados e erosão tem sido feita por alguns autores na literatura. Barthes et al. (1999) realizaram trabalho com objetivo de estudar as relações entre erodibilidade e estabilidade de agregados e porcentagem de carbono em região tropical. Concluíram que a estabilidade de agregados e a porcentagem de carbono são fatores determinantes da erodibilidade do solo, e que o efeito de sistemas de manejo sobre a erodibilidade do solo depende do efeito do manejo sobre esses dois fatores.

Barthes et al. (2000) estudaram a relação entre a estabilidade agregados de solo superficial (0 - 10 cm) com o escoamento superficial e erosão, em vasos sob chuva natural, tres classes de solo: Nitossolo, Latossolo e Neossolo regolítico, em Benin, Camarões e México respectivamente. Observaram que, quanto maior a duração e intensidade de manejo, maior a porcentagem de classe de agregados menores. Concluíram que a estabilidade de agregados de solo superficial pode ser um valioso indicador para se acessar no campo a erosão e o escoamento superficial. Nesse sentido, Albuquerque et al. (2000), trabalhando com diferentes solos do Rio Grande do sul: Latossolo Bruno câmbico, Latossolo Vermelho, Nitossolo, Latossolo Vermelho, Vertissolo, Chernossolo Vértico e Planossolo, observaram que a estabilidade dos agregados mostrou-se adequada para estimar a susceptibilidade do solos estudados à erosão. Entretanto, Amezketa (1999) comenta que é muito difícil obter-se uma correlação consistente entre estabilidade de agregados e erodibilidade do solo, em razão, segundo o autor, do grande número de métodos utilizados para se obter a estabilidade de agregados, dificultando a comparação dos trabalhos, e, assim, a confiabilidade da sua relação com a erodibilidade do solo.

Relações entre o teor de C orgânico e o tamanho e estabilidade dos agregados do solo em dois sistemas de plantio (convencional e direto) e três rotações de culturas (milho/trigo/milho, soja/trigo/milho e soja/trigo/soja), em amostras de um Latossolo Roxo de Londrina-PR, em duas profundidades: 0 - 10 e 10 - 20 cm, foram verificadas por Castro Filho et al. (1998). Os autores observaram que o sistema de plantio direto melhorou o estado de agregação do solo, com incremento do teor de C orgânico, sobretudo na camada de 0 - 10 cm, onde os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) foram significativamente superiores. A agregação tendeu a aumentar quando a sucessão de culturas incluiu espécie de relação C/N mais alta (Milho). O aumento de C orgânico resultou em aumento do índice de estabilidade de agregados (IEA), pelo aumento das classes de diâmetro maior. Já Pare et al. (1999) observaram que o maior conteúdo de carbono do PD, em relação ao PC, levou a maior porcentagem de macroagregados e menor ação dispersiva da água. Enquanto, Puget et al. (2000), estudando a dinâmica de matéria orgânica associada a frações de agregados estáveis em água, concluíram que a estabilização de macroagregados em solos está ligada à incorporação e à biodegradação de fragmentos de plantas. Esses fragmentos funcionariam como pontes, ligando os microagregados.

Nesse sentido, Six et al. (2000) avaliaram um modelo que relaciona a dinâmica de agregação à dinâmica de carbono, em sistema de plantio direto e convencional, em solos com argila 2:1 e solos com mistura de argila 1:1 e 2:1, nos Estados Unidos da América. Concluíram que parte do carbono no sistema é sequestrada e estabilizada em macroagregados, e que o carbono pode passar a estabilizar microagregados, determinando em parte o aumento do carbono em solo sob plantio direto.

As mudanças na estrutura de horizontes manejados sob cultivo foram simuladas por meio de um modelo, no trabalho de Roger-Strade et al. (2000). Esses autores detectaram diferenças após sete anos de uso do sistema de plantio direto. Mostraram ainda diferenças em zonas compactadas, em relação às não compactadas. Concluem dizendo que o modelo utilizado foi satisfatório para detectar mudanças em um indicador da qualidade estrutural do solo com o tempo de uso. Contudo, a predição de um ano para o outro foi pobre.

O efeito de rotação de culturas sobre as propriedades físicas do solo, sob plantio direto e convencional, tem sido estudado por vários autores e vem de encontro à necessidade de se determinar as plantas mais adequadas para cobertura de solo e para a adubação verde em cada região, de tal forma a melhorar as condições do solo antes do plantio da cultura de interesse econômico. Nessa direção, Arshad et al. (1998) compararam o efeito de trigo - trigo, pousio - trigo - trigo, ervilha (*Pisum sativum* L.) - trigo - trigo e cultivo de trigo contínuo, sobre a população de plantas daninhas, a produção de trigo e canola, e sobre as propriedades de um solo franco siltoso sob plantio direto (onde e solo). Concluíram que a estabilidade de agregados em água do solo foi melhorada quando o pousio foi substituído por uma cultura antecessora ao trigo.

Campos et al. (1999) estudaram o impacto de plantas de cobertura de inverno antecedendo o milho, em sistema de plantio direto, sobre a estabilidade de agregados de um Podzólico Vermelho Amarelo (onde e solo). Para tanto, utilizaram as seguintes coberturas de inverno: chícharo (*Lathyrus sativum* L.), tremoço azul (*Vicia sativa* L.), aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) e pousio invernal. Observaram que as plantas induziram variação temporal na agregação. Os autores concluíram que a umidade e a cobertura de solo tiveram uma estreita correlação com a agregação do solo.

### 3.4. Compressibilidade do solo

A pressão de pré-consolidação é a pressão máxima que o solo pode sofrer sem que haja compactação adicional. A mesma é obtida através da curva de compressão do solo. Essa curva, é constituída de duas regiões: uma de deformações pequenas elásticas e recuperáveis, chamada curva de compressão secundária, e uma de deformação plástica e não recuperável, chamada reta de compressão virgem, onde a compactação adicional ocorre (DIAS JÚNIOR, 2000). Graficamente, o ponto que divide as duas regiões do solo é a pressão de pré-consolidação (DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1995). A pressão de pré-consolidação varia de acordo com a classe de solo, a umidade do solo e, principalmente, com o manejo do solo (LARSON et al., 1980; DIAS JÚNIOR, 2000). A pressão de pré-consolidação vem sendo utilizada como indicadora da máxima pressão sustentada pelo solo no passado (DIAS JÚNIOR, 1994;

DIAS JÚNIOR; PIERCE, 1995). Portanto, na agricultura, a aplicação de pressão superior à maior pressão previamente aplicada ao solo deve ser evitada para que deformações não recuperáveis sejam evitadas (LEMBERT; HORN, 1991; DIAS JÚNIOR, 1994).

A pressão de pré-consolidação pode ser utilizada em estudos de efeito de sistema de preparo sobre a estrutura do solo. Nesse sentido, Dias Júnior (1994) observou para um solo com argila 2:1, em East Lising, Michigan nos Estados Unidos da América, que o sistema de plantio direto apresentava uma pressão de pré-consolidação maior do que o solo sobre plantio convencional. Portanto, teria maior capacidade de suporte de carga, segundo o autor, e, conseqüentemente, apresenta uma maior estabilidade estrutural.

Por outro lado, deve-se considerar o efeito do tempo de adoção do plantio direto na pressão de pré-consolidação. Nessa direção, Assis e Lanças (2005) estudaram o efeito do tempo de adoção do plantio direto sobre a pressão de pré-consolidação, em duas profundidades (0 - 5 cm e 10 - 15 cm) em um Nitossolo argiloso típico, comparado à mata nativa e ao plantio convencional. Observaram que o tempo de adoção do plantio direto alterou a pressão de pré-consolidação para as duas profundidades observadas. A profundidade de 0 - 5 cm apresentou menor capacidade suporte que a de 10 - 15 cm. Essa menor capacidade suporte indica que ainda pode ser compactada, enquanto que a profundidade de 10 - 15 já se encontra com maior grau de adensamento e/ou compactação, indicado pela maior densidade em relação à profundidade de 0 - 5 cm, e pelos maiores valores de microporosidade e menores valores de macroporosidade. Observaram também a seguinte ordem crescente de capacidade suporte: plantio direto 5 anos < plantio direto 12 anos < plantio direto 4 anos @ plantio convencional para profundidade de 0-5 cm e para a profundidade de 10-15 cm mata nativa @ plantio direto 12 anos < plantio convencional @ plantio direto 4 anos < plantio direto 5 anos. Já o plantio direto 1 ano apresentou comportamento diferenciado.

A relação entre a resistência à penetração do solo e a pressão de pré-consolidação tem sido buscada, uma vez que o conhecimento permitiria desenvolver equações da pressão de pré-consolidação em função da resistên-

cia à penetração. Isto permitiria estimar a pressão de pré-consolidação a partir da resistência à penetração do solo, acompanhando a qualidade estrutural do solo com o penetrômetro, tornando o procedimento mais fácil, rápido e barato, uma vez que a pressão de pré-consolidação é obtida a partir da curva de compressibilidade do solo, que só pode ser feita em poucos lugares do Brasil, além de ser um processo caro e demorado.

A relação da pressão de pré-consolidação com a resistência à penetração (RP) foi feita por meio de um modelo proposto por Dias Júnior e Pierce (1996), onde a resistência à penetração foi medida para diferentes condições de umidade em solos do estados e depois obteve-se a regressão com a pressão de pré-consolidação. Para condições brasileiras, Dias Júnior (1999) obteve a regressão entre a pressão de pré-consolidação e a resistência à penetração, para um Latossolo vermelho-amarelo, em três áreas da CENIBRA. Nesse estudo, observou-se que a operação de máquinas não chegou a promover pressões maiores do que a pressão de pré-consolidação, considerando assim que não havia ocorrido compactação adicional.

Kondo e Dias Júnior (1999) desenvolveram trabalho em amostras indeformadas de três solos: Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem, dos município de Lavras e Ijaci (MG), com objetivo de estudar a compressibilidade desses solos. Para tanto determinou-se a pressão de pré-consolidação e curvas de pressão em função da umidade. Verificaram que, para todos os casos estudados, o aumento da umidade reduzia a capacidade de carga do solo. Além disso, verificaram uma maior susceptibilidade à compactação do solo, sob cultura anual. Os mesmos autores salientam que a continuidade desse estudo levará ao desenvolvimento de modelos matemáticos que poderão esclarecer o processo de compactação do solo.

Diaz-Zorita e Grosso (2000) objetivaram prover informação sobre os fatores inerentes do solo relacionados com a susceptibilidade à compactação de amostras superficiais de 26 solos de área Semi-árida, sub-úmida e úmida da região dos Pampas na Argentina. Avaliaram textura, conteúdo de carbono, retenção de água a 0,33 kPa, densidade máxima pelo ensaio de Proctor

normal e conteúdo de água crítico. Os resultados revelaram que o conteúdo de matéria orgânica apresenta um efeito dominante na susceptibilidade do solo à compactação. Altos conteúdos de matéria orgânica reduzem a densidade máxima e o conteúdo de água crítico independente da classe textural. Os autores concluíram que é necessário prevenir a compactação. Assim, o sistema de plantio direto contínuo é uma alternativa interessante para solos da área semi-árida dos pampas, mas não para as regiões úmidas e sub-úmidas.

Ressalta-se que, à medida que aumenta o teor de umidade até certo limite, de acordo com o tipo de solo, conteúdo de matéria orgânica e o manejo, a susceptibilidade à compactação é maior, sobretudo para solos argilosos. Assim, em sistema de plantio direto, em geral na camada de 0 - 5 cm, observa-se maior teor de água o que favoreceria a compactação. Nesse sentido, é interessante estudar a compressibilidade do solo em resposta ao teor de água, de forma a se prever a umidade na qual o maquinário utilizado não compacta o solo.

### **3.5. Argila dispersa em água**

O manejo de solo deve levar em consideração a argila dispersa em água e o grau de floculação do solo. Assim, Rosa Júnior (1984), trabalhando com um Latossolo Vermelho distroférico de Ponta Grossa-PR, observou que os valores de grau de floculação decresceram com o aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas superficiais do solo.

O pH do solo é um fator que exerce forte influência na argila dispersa em água, uma vez que a dispersão das argilas é afetada pelo pH. A elevação do pH no sistema vai aumentar a quantidade de cargas negativas, elevando assim o potencial eletrocinético das partículas, favorecendo a repulsão destas partículas. Por tanto, de um modo geral, para os solos tropicais, que apresentam carga dependente de pH, a medida que o valor do pH aumenta e se afasta do PCZ (ponto de carga zero) dos solos, maior será a possibilidade de dispersão.

Quando o pH do solo encontra-se mais elevado que o PCZ, este tenderá a se manter disperso, em virtude do predomínio de cargas negativas, ocorrendo

repulsão entre as partículas. Por apresentarem ponto de carga zero elevados, os óxidos de ferro e alumínio influenciam significativamente a elevação do PCZ médio do solo, mantendo-o próximo do pH do solo, dificultando a dispersão das partículas (RAIJ; PEECH, 1972).

O estudo do efeito de doses de calcário e fontes de cálcio sobre amostras de um Latossolo Vermelho Escuro foi realizado por Jucksch (1987), que observou o favorecimento da dispersão com a calagem. O autor justificou esse resultado em função da elevação do pH do solo, aumentando assim as cargas negativas, e a substituição do  $Al^{3+}$  por  $Ca^{2+}$ , e dessa forma alterando a dinâmica de dispersão e floculação do sistema. Duda et al. (1995), trabalhando com um Latossolo Vermelho Amarelo distroférico, caulínítico, textura muito argilosa, também observaram que a calagem contribuiu para dispersão de argila. Gjorup (1992) sugere que a dispersão de argila com a realização da calagem ocorra em virtude da saída do alumínio trocável do complexo de troca do solo, entrando em seu lugar o cálcio e magnésio, que tem menor poder floculante que o  $Al^{3+}$ . Além disso, a calagem eleva o pH do solo, distanciando-o do PCZ e provocando o incremento de cargas negativas dependentes de pH na superfície dos colóides. Esses fenômenos favorecem a expansão da dupla camada difusa e o afastamento das partículas, e têm sido considerados como as principais causas do aumento de argila dispersa de alguns solos.

Fontes et al. (1995) observaram o aumento da argila dispersa em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, em razão de modificações de algumas propriedades químicas causadas pelo cultivo, como diminuição do carbono orgânico, aumento do pH e das bases trocáveis, e diminuição da acidez trocável e potencial, em virtude da calagem.

A dispersão de argila, influenciada por matéria orgânica, tem sido alvo de muita discussão na literatura, e esse efeito depende do tipo de argila do solo, em função de diferenças em características morfológicas e de carga do solo (BARZEGAR et al., 1995). A adição de material orgânico pode favorecer a dispersão ou agregação do solo, a depender da qualidade e quantidade (BENITES; MENDONÇA, 1998).

Os ânions orgânicos, ao complexarem cátions polivalentes como o cálcio, podem aumentar a dispersão de argila, bem como aumentar o número de cargas negativas sobre os colóides do solo (OADES, 1984; FRENKEL et al., 1992). Os ácidos húmicos também podem favorecer a dispersão de argila (FRENKEL, 1992; GU; DONER, 1993; KRETZSCHAMAR et al., 1997). A dispersão causada pela matéria orgânica também tem sido demonstrada por Goldberg et al. (1990) e Gu e Doner (1993), usando pré-tratamentos químicos para remover matéria orgânica. Já Haynes e Naidu (1998) em revisão bibliográfica demonstraram o efeito dispersivo da matéria orgânica através da aplicação de esterco animal. Por outro lado, a matéria orgânica pode prevenir a dispersão de argilas, até mesmo na presença de sódio (LOVELAND et al., 1987; BARZENGAR et al., 1997; NELSON et al., 1998). Este efeito é atribuído ao papel de raízes e hifas estabilizando agregados, bem como a polissacarídeos, formando "pontes" que estabilizam os agregados, segundo, Tarchitzky et al. (2000), resultado da presença de material de planta recente. Quando estas pontes que estabilizam os agregados são quebradas por distúrbios mecânicos, por exemplo, através operações de preparo de solo, os macroagregados são destruídos e os efeitos dispersivos da matéria orgânica podem predominar. Nesse sentido, Barzegar et al. (1997), com base em estudos que constam na sua revisão, concluíram que a influência da matéria orgânica na dispersão de argila depende: 1) do grau de sodicidade; 2) da natureza da matéria orgânica; 3) do grau de distúrbio mecânico e 4) de outras características do solo, como conteúdo e tipo de argila. Esses autores avaliaram o efeito da adição de palha de ervilha sobre solos com diferentes mineralogias e concentrações de sais. Concluíram, a partir dos seus resultados, que com a aplicação de restos culturais e não havendo distúrbio dos agregados, a matéria orgânica pode favorecer a agregação. Esses resultados sugerem então que, em sistema de plantio direto, os restos culturais associados ao menor revolvimento (menor distúrbio) do solo favoreceriam o efeito agregante da matéria orgânica sobre o solo, comparativamente ao sistema convencional, onde então o efeito dispersante da matéria orgânica teria maior oportunidade de se manifestar.

Os resultados desses autores permitem imaginar ainda que a aplicação de uma fonte de cálcio, associada à adição de restos culturais, favoreceria a

agregação. O cálcio funcionaria como ponte, ligando ânions orgânicos aos colóides minerais do solo. Nessa direção, o efeito de gesso mais matéria seca de crotalária, na floculação de argila, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, foi estudado por Borges et al. (1995). Esses autores observaram uma menor dispersão de argila com esse tratamento.

### **3.6. Resistência à penetração**

A compactação influi nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (HAKANSSON et al., 1988), sendo uma das principais causas da degradação dos solos agrícolas (HAKANSSON; VOORHEES, 1998). Em solos compactados ocorrem alterações na estrutura, densidade do solo, porosidade total, no tamanho e continuidade dos poros (DEXTER, 1988; HORN; LEMBERT, 1994).

A avaliação da resistência mecânica do solo tem sido feita por meio da avaliação de muitas variáveis físicas como: densidade do solo (DA ROSA, 1998), porosidade total, relação de vazios (VEENHOF; MCBRIEDE 1996); densidade relativa (SILVA et al., 1997); resistência do solo a penetração de raízes (SILVA et al., 1994; CORSIN; FERRAUDO, 1999) e pressão de pré-consolidação (DIAS JÚNIOR, 1994; MCBRIDE; JOOSE, 1996; KONDO; DIAS, 1999), entre outros. Nesse sentido, Bengough e Moullins (1990), analisando as vantagens e desvantagens dos vários procedimentos experimentais, concluíram que a penetrometria ainda é o mais conveniente para estimar a resistência do solo ao crescimento radicular, embora superestime esse valor, segundo Perumpral (1987) e Veen e Boone (1990). Entretanto não existe ainda uma rotina básica suficiente para se fazer estimativas mais precisas da impedância mecânica do solo. Apesar de suas limitações e das dificuldades na interpretação dos dados obtidos, o penetrômetro é de grande valia para avaliação de sistemas de preparo do solo.

A resistência à penetração é expressa pela relação entre a força exercida para fazer penetrar um cone metálico no solo e sua área basal, geralmente expressa em índice de cone (IC) (BRADFORD, 1986 apud TORMENA; ROLOFF, 1996). O índice de cone varia com a umidade do solo, sendo de fundamental importância se conhecer a umidade do solo, quando se faz a medida da resistência à penetração, com reflexos na interpretação dos resul-

tados. Nessa direção, Busscher et al. (1997) utilizaram equações de um software obtido da literatura para corrigir o índice de cone para diferentes conteúdos de umidade do solo. Contudo, o modelo utilizado não foi satisfatório. Os autores sugerem o uso de diferentes equações coordenadas.

A resistência do solo à penetração pode ser afetada pela textura, densidade do solo e conteúdo de água (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Mesmo considerando essas limitações, ela vem sendo muito utilizada. Segundo Daniel et al. (1995), a umidade do solo é importante para a resistência do solo à penetração, pois com o aumento da umidade, há uma tendência a diminuir o efeito da compactação, tanto para a quantidade de energia necessária para mobilização do solo, como para a penetração do sistema radicular, fatos preconizados por Camargo e Alleoni (1997).

O manejo do solo também pode influenciar a resistência à penetração, já que modifica a textura, densidade do solo e capacidade de retenção de água do solo.

O aumento da resistência à penetração do solo, em sistema de plantio direto na camada superficial do solo, em comparação ao sistema convencional, tem sido observado por vários autores (SARVASI, 1994; ZIMBACK et al., 1996; KLEIN, 1996; DAO, 1996; SILVEIRA et al., 1997; VALLEJOS MERNES, 1998). Por sua vez, Diaz Acuna (1998) trabalhou com um Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, fase campestre de Ponta Porã-MS, com objetivo de avaliar o efeito de sistemas de preparo de solo (plantio direto, grade pesada e escarificador), e culturas de inverno (aveia preta e trigo), sobre as propriedades químicas e físicas do solo, bem como sobre a produção de grãos e sobre a matéria seca das culturas da soja, trigo e aveia, cultivadas por 8 anos. Observou que, para profundidade de 0 - 5 cm com cultivo de aveia, não houve diferença significativa para a resistência à penetração nos preparos de solo utilizados nesse trabalho, enquanto que no cultivo com trigo, o preparo com escarificação apresentou valor de resistência à penetração maior que os demais tratamentos, que foram iguais entre si. Percebe-se que o efeito da escarificação, na produtividade das culturas, varia com a cultura. Assim, nem sempre a melhoria na qualidade física do solo, através da escarificação, vai refletir em maior produtividade.

Karunatilake et al. (2000) avaliaram a performance de sistema de preparo reduzido após a rotação de culturas. Para tanto, utilizaram os seguintes preparos: preparo convencional, plantio direto/ preparo em zona. Observou que a proliferação de raízes no subsolo era boa, apesar da resistência à penetração ter sido superior a 2 MPa, sugerindo que as medidas com penetrômetro não sejam um bom indicador do potencial de enraizamento, em solos bem estruturados. Os resultados mostraram ainda uma relação inversa entre o conteúdo de água e à resistência à penetração na superfície, para o plantio direto. Esses autores indicaram que a penetrabilidade é mais afetada pelo arranjo dos agregados.

Schjonning e Rasmussen et al. (2000) estudaram o efeito de semeadura direta e preparo com aração sobre a resistência à penetração, densidade do solo e continuidade e tortuosidade de poros, em três solos com texturas areia grossa, areia franca e franco siltosa. Em geral, a semeadura direta aumentou a densidade do solo nas camadas superficiais mais que o preparo com aração, bem como causou maior resistência à penetração na profundidade de 24-28 cm, e menor volume de macroporos (poros > 30 mm) nas profundidades de 4-18 e 14-18 cm. Isto se refletiu na difusividade e ar para todos os solos, exceto para o solo franco arenoso, em que a semeadura direta aumentou a difusividade e permeabilidade a ar. Através de índices de tortuosidade, calculados para difusividade ao ar e para a permeabilidade ao ar, mostraram que a semeadura direta, nas profundidades de 4-8 e 14-18 cm, apresentou menor continuidade de poros e maior tortuosidade, embora se esperasse o contrário. Nesse sentido, Lopez et al. (1996) compararam sistemas de culturas e rotação cereal-pousio e os efeitos de 2 sistemas convencionais e de plantio direto sobre o conteúdo de água e a resistência à penetração, em um solo franco siltoso e em um franco siltoso argiloso. Os autores indicaram que a adoção do plantio direto, no lugar do sistema convencional, não causou efeitos adversos na retenção de água e resistência à penetração, para o período em estudo. Unger (1996) determinou o efeito de diferentes sistemas de manejo e tráfego controlado sobre a resistência à penetração, condutividade hidráulica, densidade do solo e conteúdo de água em um Pullman soil (na nossa classificação é possivelmente um Vertissolo) franco argiloso, em Bushland, Texas, nos Estados Unidos da América. Esse autor verificou que o desenvolvimento de

condição física adversa (aumento da densidade do solo e da resistência à penetração) está limitada às zonas de tráfego, quando se usa o plantio direto para produção de cultura irrigada.

O estudo do efeito da compactação sobre as culturas tem sido feito por vários autores, contudo, pouco se conhece sobre a geometria e o volume das zonas compactadas. Para preencher essa lacuna, Richard et al. (1999) examinaram a mudança da compactação em função do tráfego, sob uma larga faixa de condições, para descobrir a intensidade e o volume de solo (Luvisolo do nordeste da França) afetado. Para tanto, conduziu-se um experimento de longa duração. A análise morfológica mostrou que mudanças na proporção de zonas compactadas resultam da mudança da espessura e da profundidade da camada compactada, e que a geometria das zonas compactadas se aproxima à de uma meia elipse. Esses resultados mostram que métodos morfológicos podem ser úteis para descobrir o volume de poros afetado pela compactação, em condições de campo.

### **3.7. Infiltração e retenção de água**

A condutividade hidráulica e o teor de água são importantes fatores para a compactação do solo. Assim, Camargo (1983) observou que, em condições de saturação, o conteúdo de água aumenta com a compactação.

A estrutura do solo influencia intensamente a retenção de água pelo solo, sobretudo na faixa mais úmida, como no caso da capacidade de campo, mas não para o ponto de murcha permanente (SCARDUA, 1972 apud ARRUDA, 1987). O efeito do tráfego reflete-se na infiltração de água e na mudança de porosidade do solo. Esses autores verificaram uma redução na taxa de infiltração de aproximadamente  $80 \text{ mm.h}^{-1}$ , em áreas sem mecanização, para  $20 \text{ mm.h}^{-1}$ , em áreas mecanizadas, em virtude, principalmente, da redução de 62% da macroporosidade inicial, nos primeiros 15 cm do solo.

A compactação, causada pelo cultivo frequente do solo, nem sempre é prejudicial às plantas, pois, em solos excessivamente porosos, esse tipo de compactação melhora a retenção de água (MANTOVANI, 1987; CAMARGO; ALLEONI, 1997), ao reduzir a proporção de macroporos e aumentar a proporção de microporos (ou poros médios).

A permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, continuidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água. Arzeno (1990) ressaltou a estreita correlação entre a continuidade dos poros e a capacidade de infiltração de água no solo, sendo mais eficaz em indicar variações entre sistemas de manejo do que outras determinações.

Sarvasi (1994) encontrou, em diferentes sistemas de manejo em Latossolo Roxo em Piracicaba-SP, permeabilidades de 23,02, 24,36 e 61,54 mm.h<sup>-1</sup>, para manejos convencionais com grade aradora, arado de disco e plantio direto, respectivamente. Em estudo semelhante, Castro (1995) observou permeabilidades de 111,37 e 112,15 mm.h<sup>-1</sup> na superfície e a 20 cm de profundidade, respectivamente, em plantio direto, e de 11,88 e 46,15 mm.h<sup>-1</sup> na superfície e a 20 cm de profundidade respectivamente, em sistema convencional. Olson et al. (1996) classificaram a permeabilidade do solo em baixa (< 5 mm.h<sup>-1</sup>), média (de 5 a 15 mm.h<sup>-1</sup>) e alta (de 15 a 50 mm.h<sup>-1</sup>), sendo este um dos critérios para se avaliar a susceptibilidade do solo à erosão hídrica em sistemas de manejo.

Tavares e Costa (1993) estudaram a compactação do solo em três solos do Estado do Paraná: Latossolo Vermelho textura média, Latossolo Vermelho eutroférico e um Nitossolo. Esses autores ressaltaram que a pulverização dos agregados do solo na superfície e a formação de camada compactada na sub-superfície levam a mudanças na circulação de água, nos processos de infiltração e redistribuição de água, visto que ambos provocam encharcamento nos primeiros centímetros e facilitam a erosão laminar ou em sulcos.

Resultados de pesquisa têm mostrado que a infiltração de água, no plantio direto, apresenta comportamento variável em determinadas situações, comparado com plantio convencional.

O solo cultivado com plantio direto apresenta maior quantidade de água disponível, em relação a sistemas de preparo reduzido e convencional (ANDRADE et al., 1994; ALBUQUERQUE et al., 1995; SALTON; MIELNICZUK, 1995; URCHEI, 1996).

A avaliação do nível em que a resistência à penetração em determinada umidade do solo se torna limitante ao crescimento do sistema radicular, e a correlação disto com a água disponível, foi realizada por Klein e Libardi (1998) em um Latossolo Vermelho eutroférico de Guaíra-SP, em área irrigada submetida a plantio direto em área de cerrado. Observaram que o sistema de plantio direto apresentava 9% a mais de água disponível do que a mata, e concluíram que o plantio direto, embora aumente a densidade do solo bem como à resistência à penetração das raízes, aumenta o volume de água armazenada para as plantas.

O efeito da cobertura do solo com resíduos culturais sobre a temperatura e a umidade foi estudado por Braganolo e Mielniczuk (1990), que verificaram que a aplicação de  $7,5 \text{ t.ha}^{-1}$  de palha reduziu a temperatura máxima do solo em  $8,5^\circ\text{C}$ . Observaram também em torno de 10% a mais de água em relação ao solo descoberto. Nesse sentido, a elevada capacidade de cobertura da aveia preta favoreceu a manutenção da umidade do solo, reduzindo as perdas de água, durante o verão, de um Latossolo Roxo distrófico no Paraná (DERPSH et al., 1985).

A condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro em Ponta Grossa-PR após dois anos de implantação de plantio direto, com culturas de milho e soja, foi avaliada por Canalli e Roloff (1997), que observaram que a quantidade de água prontamente disponível foi menor na camada de 0-20 cm, quando comparada à camada de 0-40 cm, mostrando que a camada compactada superficial do plantio direto estava afetando negativamente a condição hídrica do solo. Nesse sentido, Singh et al. (1996) estudaram os efeitos do plantio direto e do plantio convencional deixando e incorporando palha, e plantio convencional removendo a palha, sobre a retenção de água, a distribuição de poros e a transmissão de água em um solo de textura fina, cultivado continuamente durante 9 anos. Esses autores observaram que a quantidade de água disponível foi menor no solo sob plantio direto do que nos outros sistemas de preparo estudados.

Silva (1980), citado por Cintra et al. (1993), encontrou, em um Latossolo aliférico, uma taxa de infiltração de água de  $125,05 \text{ mm h}^{-1}$ , na área de mata

nativa, e de 20,00 mm.h<sup>-1</sup> no solo cultivado. Observou ainda que, no solo sob vegetação nativa, apenas 20% dos agregados tinham tamanho menor que 1 mm, enquanto que para o solo cultivado, esse valor subia para 60%.

O estudo da distribuição do tamanho de poros em um Latossolo Roxo, com três manejo distintos: áreas de sequeiro e irrigada sob plantio direto, e área de cerrado, foi realizado por Libardi e Klein (1998). Estes observaram que o plantio direto de sequeiro e irrigado, na profundidade de 0 - 5 cm, afetou a densidade do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado e a porosidade total, sempre com maior intensidade para o tratamento irrigado, ou seja, os cultivos aumentaram a densidade do solo, diminuíram a porosidade total e a condutividade hidráulica, em razão do aumento de microporos (ou diminuição de mesoporos), em relação à mata.

A avaliação da permeabilidade de solos, utilizando a taxa de infiltração, medida pela condutividade do solo saturado com permeâmetro de Guelph, em diferentes solos sob diferentes manejos e coberturas de solos, foi realizada por Primavesi et al. (1998). Esses autores concluíram que a permeabilidade do solo varia com o tipo de solo, espécie vegetal, vigor vegetativo (estado nutricional), intensidade de manejo, e constitui um indicador sensível, fácil de se levantar a campo.

Abrão et al. (1979) compararam os efeitos de seis sistemas de preparo do solo, que incluem plantio direto com sub solagem, sobre as características físicas de um Latossolo Vermelho distroférico, em cultivos sucessivos soja-trigo, a partir de um experimento no quarto ano de execução. Esses autores não observaram diferença na velocidade de retenção de água para o sistema de plantio direto, em relação aos demais.

O efeito do cultivo por 8 anos com rotação milho-soja em um Fragiudalf (possivelmente um Argissolo com presença de Fragipã na nossa classificação), franco siltoso de Illinois (EUA), sob plantio direto, arado de disco e arado de aiveca, sobre as propriedades físicas do solo, foi estado por Hussain et al. (1998). Esses autores verificaram que o plantio direto promoveu um maior armazenamento de água do que os outros sistemas, contudo falhou em

manter a macroporosidade, resultando numa maior densidade do solo na camada superficial.

### 3.8. Indicadores de qualidade de solo

Muitas das determinações mencionadas anteriormente, feitas no campo ou no laboratório, tem sido utilizadas como indicadores da qualidade do solo, sobretudo com ênfase na avaliação da sustentabilidade do ambiente. Nesse sentido, têm sido realizados estudos avaliando a qualidade do solo através desses indicadores, no sentido de comparar sistemas de preparo e identificar o mais adequado para um uso sustentável (KARLEN; STOTT, 1994; ARSHAD et al., 1996; ISLAM; WEIL, 2000).

Harris et al. (1996) avaliaram a qualidade do solo em sistemas de manejo, por meio da porosidade total. Encontraram valores para porosidade total do solo de 0,60, 0,48, 0,51 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>, para área preservada, convencional, e plantio direto, respectivamente. Estas avaliações foram feitas na profundidade de 30 cm. Esses autores concluíram que essa variável foi sensível às diferenças entre os preparos, e poderia ser utilizada como indicadora da qualidade do solo.

Outro indicador de qualidade do solo interessante é o intervalo hídrico ótimo (IHO), que é a faixa de conteúdo de água do solo em que as limitações ao crescimento de raízes associadas ao potencial hídrico, aeração e resistência do solo à penetração de raízes são mínimas. A utilização deste como indicador de qualidade de solos ainda é escassa, para solos tropicais. Nesse sentido, Tormena et al. (1999) avaliaram o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo argiloso, cultivado com milho sob sistema de plantio direto e convencional. Demonstraram que o intervalo hídrico ótimo foi maior no sistema convencional do que no plantio direto, e que estava negativamente correlacionado com a densidade do solo. Observaram ainda que a resistência à penetração foi determinada em baixo intervalo hídrico ótimo em 89% das amostras do plantio direto, e em 46% das amostras do plantio convencional. Os autores ressaltam a necessidade de se determinar o intervalo hídrico ótimo em diferentes condições de texturas e manejo, em solos tropicais.

Unger e Jones (1998) determinaram os efeitos de *stubble much tillage* e plantio direto em diferentes sistemas de culturas com trigo de inverno e sorgo

granífero, sobre a densidade do solo, resistência à penetração e conteúdo de água em um Paleustoll (Luvissole argilúvico típico) franco argiloso, em Bushland, Texas, nos Estados Unidos da América. Os resultados indicaram que a resistência à penetração era independente da densidade do solo e que o conteúdo de água foi severamente afetado pela resistência à penetração no plantio direto. Os autores concluíram que este resultado estava relacionado ao fato que o plantio direto não perturba o solo, e que bioporos estáveis são criados por organismos do solo e canais de raízes, reduzindo o efeito da diferença de densidade do solo no plantio direto. Além disso, no plantio direto, o solo desenvolveu uma rígida estrutura, independente da densidade. Os resultados sugerem que o uso de plantio direto com longa duração não compromete a qualidade e sustentabilidade do solo estudado.

Ehlers et al. (2000) compararam o efeito do sistema de plantio direto e convencional sobre as propriedades físicas de um Luvissole siltoso da Alemanha e sobre características da cultura. Para tanto, utilizaram os seguintes tratamentos: leve (2 x 2.5 t; número de passadas do pneu); médio (2 x 5 t) e alto (6 x 5 t). Os autores concluíram que, nesse solo siltoso, a compactação abaixo da profundidade de aração é difícil de ser regenerada por processos internos, e que os solos sob manejo conservacionista são menos suscetíveis a sobrecarga. Apesar disso, o manejo conservacionista é uma medida recomendável para proteção do solo a compactação, mas não suficiente, considerando o desenvolvimento presente de maquinário de peso elevado.

O efeito de 3 métodos de preparo: plantio direto, plantio convencional com arado de aiveca, plantio convencional com arado de haste; 3 níveis de compactação imposta por 3 anos consecutivos (controle (sem compactação), 10 MPa e 20 MPa para um mesmo eixo); e duas rotações de cultura: milho-soja e soja-aveia durante 3 anos sobre as propriedades físicas de um solo Aluvial do nordeste de Ohio, nos EUA, foi estudado por Lal (1999). Os resultados indicaram a necessidade do desenvolvimento de indicadores adequados para avaliar o efeito do manejo nas propriedades físicas de solos argilosos, que apresentam elevada expansão e contração.

Ressalta-se também que a geometria dos poros e a forma dos poros do solo,

observada através de imagens de micromorfologia, constituem também indicadores interessantes da qualidade do solo, como mostrado no trabalho de Vellajo Mernes (1998), apresentado anteriormente.

Outra variável interessante para avaliar a qualidade do solo, particularmente como indicadora de compactação do solo, é a densidade relativa (DR). Essa variável é obtida pela relação entre a densidade do solo e densidade máxima do solo obtida em Laboratório (KLEIN, 2002). O valor da densidade relativa em que as condições para o desenvolvimento das plantas é ótimo é de 0,715, para um Latossolo Vermelho distroférico. Por outro lado, para solos da Escandinávia e oeste do Canadá, os valores de DR foram de 0,77 e 0,84, respectivamente (KAY, 2000). Segundo Carter (1990), quando a densidade relativa alcança valores superiores a 0,86 ou 0,90 (varia com a textura do solo), ocorre redução no volume de macroporos, o que está relacionado com um menor crescimento e rendimento das culturas. Ferreras et al. (2001) observaram que a DR variou com o tipo de manejo, verificando os valores de 0,87 para solo sob plantio direto, e de 0,85 para solo sob plantio direto escarificado. Esses resultados se refletiram de forma significativa no rendimento da cultura da soja. Klein e Câmara (2005) também observaram que a DR variou com o manejo do solo, observando valores maiores para Plantio Direto (PD) que para Plantio direto escarificado (PDE), em um Latossolo Vermelho distrófico típico. Comparando os manejos em diferentes profundidades de amostragem, observaram que o valor de RD para o PD foi maior que o PDE, na profundidade de 2,5 cm, indicando um certo nível de compactação nessa profundidade.

A densidade relativa tem se mostrado sensível aos efeitos de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade do solo, sendo um bom indicador da compactação do solo. Há necessidade de intensificação dos trabalhos de correlações da DR com a produtividade das culturas, para que se possa indicar, por exemplo, se a perda de qualidade do solo, mostrada pela DR, está se refletindo em menor produtividade.

Ressalta-se que outras propriedades do solo, como a condutividade hidráulica, podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo. Nesse

item, colocou-se os indicadores que foram utilizados em trabalhos nos quais o enfoque específico era avaliar a qualidade do solo, por meio desses indicadores.

A utilização dos indicadores de qualidade do solo é interessante para monitoramento da qualidade do solo ao longo do tempo, visando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agropecuária. Os resultados dos indicadores permitem nortear o manejo sustentável do solo.

Ressalta-se também que os indicadores de qualidade solo, para serem mais facilmente aplicados pelos agricultores nas suas tomadas de decisões quanto ao manejo de solo, devem ser confiáveis, comprovados pela pesquisa. Além disso, devem ser, preferencialmente, de baixo custo e de fácil obtenção. Assim observa-se que muitos dos indicadores mencionados não apresentam essas características.

Muitos desses indicadores são obtidos através de medidas caras, como a densidade máxima, usada para calcular a densidade relativa. Além disso, algumas dessas medidas são demoradas. Nesse sentido, é interessante relacionar indicadores técnicos de campo e de laboratório, que o produtor percebe no campo e que sejam de fácil obtenção. Nessa direção, são escassos os trabalhos que fizeram essa relação, sobretudo para os solos tropicais. Há necessidade de se pesquisar a relação entre os indicadores técnicos e os que o produtor observa no campo, ou com aqueles fáceis de medir, sendo que deve-se considerar o tipo de solo e manejo de uma determinada região.

### **3.9. Lixiviação de nutrientes e pesticidas**

A lixiviação de nutrientes e pesticidas no solo é influenciada pelas características do solo, pela umidade, pela matéria orgânica e pelo manejo do solo, e pelas características do pesticida.

O estudo da lixiviação de nutrientes e pesticidas, influenciada por sistemas de manejo em solos tropicais, particularmente em solos arenosos, tem sido pouco estudada.

Com relação à lixiviação de nutrientes, alguns trabalhos relatam maiores

perdas de nitrogênio por lixiviação em sistema de plantio direto, comparado ao sistema convencional. Esta maior lixiviação é atribuída à maior infiltração de água, resultante da ação da matéria orgânica, favorecendo uma maior agregação na camada superficial do solo (BARTZ, 1998). Apesar dessa maior perda de nitrogênio por lixiviação, não há prejuízo na produção frente ao sistema convencional, em razão das perdas serem compensadas por maior fornecimento de nitrogênio via mineralização (BARTZ, 1998). Contudo, os impactos ambientais dessa maior lixiviação de nitrogênio no plantio direto, em relação ao convencional, tem sido pouco estudados.

A retenção de pesticidas em solo sob sistema de plantio direto, em geral, é maior do que no sistema convencional, e, conseqüentemente, a lixiviação de pesticidas é menor no sistema de plantio direto. Normalmente, este fato é atribuído aos maiores teores de matéria orgânica no sistema de plantio direto, em relação ao convencional, que seriam responsáveis pela maior retenção do pesticida.

Oliveira et al. (2004) estudaram o efeito da matéria orgânica e do pH em um Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa sob dois manejos: plantio direto e convencional, na retenção do Imazaquim. Concluíram que áreas de Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto, tendem a apresentar maior retenção do Imazaquim do que com plantio convencional, e conseqüentemente, menor lixiviação.

Fontes et al. (2004) estudaram efeito de métodos de aplicação (herbigeação e pulverização), na cultura do feijão, na lixiviação do metolachor e do fomesafen no solo Argissolo Vermelho Amarelo câmbico, sob plantio direto e convencional. Observaram que os dois herbicidas se movimentaram menos no solo sob plantio direto do que sob plantio convencional, sendo que o Fomesafen movimentou-se a uma profundidade maior do que o metolachor. Essa redução foi associada aos maiores teores de matéria orgânica no solo sob plantio direto, assim adsorvendo maior quantidade do pesticida ficando menor concentração na solução do solo para ser lixiviada.

## 4. Considerações finais

O solo em sistema de plantio direto pode apresentar compactação superficial. Contudo, em geral, esta parece não comprometer significativamente a produtividade das culturas frente ao plantio convencional.

A escarificação pode minimizar a compactação superficial no plantio direto, ainda que o efeito seja temporário. Por outro lado, nem sempre a escarificação no plantio direto leva a maiores produtividades, comparada ao plantio direto contínuo.

Os estudos do efeito de sistemas de preparo sobre as propriedades físicas de solos arenosos são escassos, e tornam-se urgentes, pois a atividade agrícola tem se estabelecido nesses solos em regiões de cerrado, a exemplo dos Cerrados do Oeste Baiano, e do Mato Grosso.

Indicadores de qualidade de solos confiáveis para sistemas de plantio direto, sobretudo na região de cerrados, devem ser gerados visando o monitoramento da qualidade do solo e sobretudo para quantificação dos serviços ambientais prestados pelo sistema de manejo e produtor possa ser remunerado por isso. É necessário se fazer a relação entre os indicadores técnicos da qualidade do solo e indicadores de campo usados pelo produtor.

A micromorfologia constitui uma ferramenta interessante para compreender os efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas do solo, particularmente sobre a porosidade.

As técnicas para avaliação das propriedades físicas em plantio direto devem ser aprimoradas.

A condutividade hidráulica saturada, feita no campo, constitui um bom indicador de qualidade estrutural do solo, em resposta a sistemas de preparo e manejo do solo.

Estudos de compressibilidade de solo em sistemas de plantio direto devem ser ampliados, a fim de se fazer previsão da susceptibilidade à compactação, em

função da umidade do solo, e se determinar o momento adequado de entrar com as máquinas no campo.

Estudos sobre intervalo hídrico ótimo devem ser ampliados para solos sob plantio direto, sobretudo em região de cerrados, para se prever o melhor momento, com relação à umidade, para se entrar no solo com a operação de plantio, de forma a se prevenir a compactação superficial do solo.

O zoneamento de áreas aptas ao sistema de plantio direto, com base em propriedades físicas, químicas e mineralógicas, é necessário para subsidiar um planejamento estratégico da agricultura.

Em solos com estrutura microgranular, houve dificuldade para o plantio direto se estabelecer, pois o sistema radicular fica mais superficial. Esse fato é mais crítico em regiões onde ocorrem veranicos, como o norte do Paraná.

O sistema de plantio direto tem viabilizado a produção de grãos em solos arenosos, tornando a produção mais sustentável e promovendo a conservação de solo e água. Contudo, a avaliação da lixiviação de nutrientes e pesticidas e a possível contaminação das águas subterrâneas nesses solos tem sido pouco investigada.

## 5. Referências bibliográficas

ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M., ELTZ, F.L.F., CASSOL, E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n. 3, p.169-172, set./dez. 1979.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C.; FONTINELLI, I. F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeitos sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n. 1, p.115-119, jan./abr. 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E .A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade entre sulcos e a estabilidade dos agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n. 1, p.141-151, jan./mar. 2000.

ALEMU, G.; UNGER, P. W.; JONES, O. R. Tillage and cropping system effects on selected conditions of a soil cropped to grain sorghum for twelve years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.28, n. 1-2, p.63-71, 1997.

AMEZKETA, E. Soil aggregate stability: a review. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.14, n. 2-3, p.83-151, 1999.

ANDRADE, A. P., WOLFE, D. W., FERERES, E. Sistemas de preparo do solo: I. Efeito sobre o conteúdo de água e temperatura do solo na cultura da soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. p.184-185.

ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n. 1, p.139-45, jan./abr. 1994.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JUNIOR, J.; OLIVEIRA, J. B. de. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n. 1, p.11-15, jan./abr. 1987.

ARSHAD, M. A; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141 (SSSA Special Publication, 49)

ARSHAD, M. A.; GILL, K.S.; IZAURRALDE, R. C. Wheat production, weed population and soil properties subsequent to 20 years of sod as affected by crop rotation and tillage. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.12, n. 2-3, p.131-154, 1998.

ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos do solo em Latossolo Roxo distrófico**. 1990. 250 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. L. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 4, p.507-514, jul./ago. 2005.

BALDISSERA, I. T.; VEIGA, M.; TESTA, V. M.; JUCKSCH, I.; BACIO, I. L. Z. Características físicas em solos de Santa Catarina sob diferentes sistemas de manejo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBCS, 1994. p. 416-417.

BALL-COELHO, B. R.; ROY, R.C.; SWANTON, C.J. Tillage alters root distribution in coarse-textured soil. **Soil and Tillage Research**, v.45, n. 3-4, p.237-249, 1998.

BARTHES, B.; AZONTONDE, A.; BOLI, B. Z.; PRAT, C.; ROOSE. Field-scale run-off and erosion in relation to topsoil aggregate stability in three tropical regions (Benin, Cameroon, Mexico). **European Journal of Soil Science**, v.51, n. 3, p.485-495, 2000.

BARTHES, B.; ALBRECHT, A.; ASSELINE J.; DE NONI, G.; ROOSE, E. Relationship between soil erodibility and top soil aggregate stability or carbon content in a cultivated Mediterranean highland (Aveyron, France). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, n. 13-14, p.1929-1938, 1999.

BARTZ, H. R. Dinâmica dos nutrientes e adubação em sistemas de produção sob plantio direto. In: **PLANTIO direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária**. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 59.

BARZEGAR, A. R.; OADES, J. M.; RENGASAMY, P.; MURRAY, R. S. Tensile strength of dry remoulded soils as affected by properties of the clay fraction. **Geoderma**, v.65, n. 1-2, p.93-108, 1995.

BARZEGAR, A. R.; NELSON, P. N.; OADES, J. M.; RENGASAMY, P. Organic matter, sodicity, and clay type: influence of soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n. 4, p.1131-1137, 1997.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n. 2, p.215-221, abr./jun. 1998.

BENGOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Sciences**, v.41, n. 3, p. 341-358, 1990.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n. 3, p.409-418, jul./set. 1997.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. A. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n. 1, p.129-136, jan./mar. 2001.

BORGES, E. N.; LIBARDI NETO, F.; CORRÊA, G. F.; COSTA, L. M. da. Efeito do gesso mais massa seca vegetal na flocculação de argila e na produção vegetal em um latossolo com camada superficial compactada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBCS: UFV, 1995. v.4, p.1923-1925.

BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, v.10, n.2 p.181-195, 1986.

BRAGANOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e a umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo, Campinas**, v.14, n.2, p.369-374, 1990.

BRAIDA, J. A.; CASSOL, E. A. Relações da erosão em entressulcos com o topo e com quantidade de resíduos vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.23, n. 3, p.711-721, 1999.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 3-4, p. 205-217, 1997.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. *Ciência Rural*, v.35, n. 4, p. 813-819, 2005.

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

CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.

CAMPOS, B. C. de.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n. 2, p.383-391, 1999.

CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n. 1, p.99-104, 1997.

CARTER, M. R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction tillage studies of fine loamy sand. **Canadian Journal of Soil Science**, v.70, n. 3, p.425-433, 1990.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de cultura e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n. 3, p.527-538, 1998.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.197-201, 1993.

COSTA, L. M.; JUCKSCH, I.; GJORUP, G. B. Fertilidade e manejo de solos. In: CURSO de especialização por tutoria à distância. Brasília, DF: ABEAS, 1996. 61 p.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivos na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n. 2, p.289-298, 1999.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo de solo a partir de campo nativo: efeito sobre forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n. 2, p.241-247, 1997.

DA ROSA, M. E. C. **Formas de carbono e características físicas, químicas e mineralógicas de um Latossolo Roxo, sob plantio direto e mata, no sistema biogeográfico do cerrado**. 1998. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação física de solos degradados pelo cultivo no solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo distrófico)**. 1981. 138 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

DANIEL, L. A.; LUCARELLI, J. R.; CARVALHO, J. F. de. **Efeito do método de preparo do solo na formação de camadas compactadas**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. Mimeografado.

DAO, T. H. Tillage system and crop residue effects on surface compaction of a Paleustoll. **Agronomy Journal**, v.88, n. 2, p.141-148, 1996.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n. 3, p.703-709, 1999.

DERPSH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p.761-773, 1985.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v.11, n. 3-4, p. 199-238, 1988.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doutorado em Crop and Soil Sciences) – Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, 1994.

DIAS JUNIOR, M. S. **Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Amarelo situado em áreas experimentais da CENIBRA**. Lavras: UFLA, 1999. 23p. (Relatório do Projeto de Pesquisa).

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Influência da história de tensão e da variação de umidade na modelagem da compactação do solo. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 445-452.

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

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBC, UFV, DPS, 2000. v.1, p.55-88

DIAZ ACUÑA, R. R. **Sistemas de manejo de solo e sua influência em atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro de Ponta Porã, MS**. 1998. 143 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

DIAZ-ZORITA M.; GROSSO, G.A. Effect of soil texture, organic carbon, and water retention on the compactability of soils from the Argentinean pampas. **Soil and Tillage Research**, v.54, n. 1-2, p.121-126, 2000.

DUDA, G. P.; RUIZ, H. A.; LOURES, J. L. Condutividade elétrica, dispersão de argila e retenção de água em um Latossolo em resposta à calagem, adubação e incorporação de resíduos de origem suína. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1995. v.4, p.1915-17.

EHLERS, W.; WERNER, D.; MAHNER, T. Effect of mechanical stress on structure and productivity of a loess-derived Luvisol with conventional and conservational tillage. **Journal of plant Nutrition**, Bodenk, v.163, n. 3, p.321-333. 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FERRERAS, L. A.; DE BATISTA, J. J.; AUSILIO, A.; PECORARI, C. Parametros físicos del solo em condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n. 1, p.161-170, 2001.

FREITAS, P. L. **Sistema de Plantio Direto: conceitos, adoção e fatores limitantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 9 p.

FRENKEL, H.; FEY, M. V.; LEVY, G. J. Organic and inorganic anion effects on reference and soil clay critical flocculation concentration. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n. 6, p.1762-1766, 1992.

FONTES, L. E. F.; CARVALHO JÚNIOR, I. A de.; COSTA, L. M. da. Modificações causada pelo uso e formação de camadas compactadas e adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro de textura média. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, 1995. v.4, p.1929-30.

FONTES, J. R. A.; SILVA, A. A.; VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Lixiviação de herbicidas no solo aplicados com água de irrigação e plantio direto. **Planta Daninha**, v.22, n. 4, p.623-631, 2004.

GJORUP, G. B. **Influência de carga dependente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água**. 1992. 41 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

GOLDBERG, S.; KAPOOR, B. S.; RHOADES, J. D. Effect of aluminum and iron oxides and organic matter on flocculation and dispersion of arid zone soils. **Soil Science**, v.150, n. 3, p.588-593, 1990.

GU, B.; DONER, H. E. Dispersion and aggregation of soil as influenced by organic and inorganic polymers. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, n. 3, p.709-716, 1993.

GYSI, M.; KLUBERTANZ, G.; VULLIET, L. Compaction of an Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: field data and modeling. **Soil and Tillage Research**, v.56, n. 3-4, p.117-129, 2000

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W. B.; RILEY, H. Vehicle and wheel traffic factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, v.11, n. 3-4, p.239-282, 1988.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B.A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation. advances in soil science**. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-179.

HAYNES, R.J.; NAIDU, R. Influence of lime fertilizer manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.51, n. 2, p.123-137, 1998.

HENKLEIN, J.C. Influência do tempo no manejo do sistema de semeadura direta e suas implicações nas propriedades físicas do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBCS: EMBRAPA, 1997. 1 CD-ROM.

HARRIS, R. F.; KARLEN, D. L.; MULLA, D. J. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 61-82 (SSSA Special Publication, 49).

HERNANI, I. C., SALTON, J. C., FABRÍCIO, A. C., DEDECK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimento de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.667-676, 1997.

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

HUSSAIN, I.; OLSON, K. R.; SIEMENS, J. C. Long-Term tillage effects on physical properties of eroded soil. **Soil Science**, v.163, n. 12, p.970-981, 1998.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid Atlantic soils as influenced by conservational management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.55, n. 1, p.69-78, 2000.

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro**. 1987. 37 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A Framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 53-72 (SSSA Special Publication, 35).

KARUNATILAKE, U.; Van ES, H.M.; SCHINDEELBECK, R. R. Soil and maize response to plow and no- tillage after alfalfa-to-maize conversion on a clay loam soil in New York. **Soil and Tillage Research**, v.55, n. 1-2, p.31-42, 2000.

KAY, B. D. Rates of change of soil structure under different cropping system. **Advanced Soil Science**, v.12, n. 1, p.1-41, 1990.

KAY, V. A. Potential indicators of quality of soil structure for plant growth In: **Workshop internacional em avanços em ciência do solo: A física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. Disponível na internet: <[http://www.esalq.usp.br/isn/work\\_palm.htm](http://www.esalq.usp.br/isn/work_palm.htm)>. 2000. Acesso em: 05 jul 2000.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 264 p.

KLEIN, D. L. Densidade do solo em área de plantio direto submetido a diferentes manejos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

KLEIN, V. N.; LIBARDI, P. L. Armazenagem de água no solo e resistência à penetração. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 163-164.

KLEIN, V. N. Densidade relativa: um indicador da qualidade física do solo . In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA 14., 2002, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 1 CD-ROM.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estimativa do uso e da umidade do solo sobre a compactação adicional de três Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n. 4, p.773-782, 1999.

KRETZSCHMAR, R.; HESTERBERG, D.; STICHER H. Effects of adsorbed humic acid on surface charge and flocculation of kaolinite. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n. 1, p.101-108, 1997.

KRZIC, M.; FORTIN, M. C.; BOMKE, A. A. Short-term responses of soil physical properties to corn tillage-planting systems in a humid maritime climate. **Soil and Tillage Research**, n. 3-4, v.54, p.171-178, 2000.

LAL, R. Soil compaction and tillage effects on soil physical properties of a Mollic Ocharaqualf in northwest Ohio. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.14, n. 4, p.53-65, 1999.

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

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

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advanced Soil Science**. v.1, n. 1, p.277-294. 1985.

LI, Y .X.; TULBERG, J. N.; FREEBAIRN, D. M. Traffic and residue cover effects on infiltration. **Australian Journal of Soil Research**, v.39, n. 2, p.239-247, 2001.

LIBARDI, P. L.; KLEIN, V. N. Condutividade hidráulica do solo saturado e sua relação com a distribuição do tamanho dos poros. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 220-221.

LOGSDON, S. D.; CAMBARDELLA, C. A. Temporal change in small depth-incremental soil bulk density. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n. 2, p.710-714, 2000.

LOPEZ, M. V.; ARRUE, J. L.; SANCHEZGIRON, V. A Comparison between seasonal changes in soil water storage and penetration resistance under conventional and conservationist tillage systems in Aragon. **Soil and Tillage Research**, v.37, n. 4, p.251-271, 1996.

LOVELAND, P. J.; HAZELDEN, J.; STURDY, R. G. Chemical properties of salt-affected soils in north Kent and their relationship to soil stability. **Journal of Agricultural Science**, v.109, n. 1, p.1-6, 1987.

LUCARELLI, J. R.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L.A. Estabilidade e distribuição de agregados em oito diferentes sistemas de preparo e manejo de solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.207-208.

MACHADO, R. L. T.; TURATTI, A. L.; ALONÇO, A. S. Efeito da escarificação sobre alguns parâmetros físicos de um Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n. 3, p.519-523, 1997

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**, v.13, n. 17, p.52-55, 1987.

McBRIDE, R. A.; JOOSSE, P. J. Overconsolidation in agricultural soils: II. Pedotransfer functions for estimating pre-consolidation stress. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n. 2, p.373-380, 1996.

McGARRY, D.; BRIDGE, B. J.; BRADFORD B. J. Contrasting soil physical properties after zero and traditional tillage of alluvial soil in the semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v.53, n. 2, p.105-115, 2000.

MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n. 1, p.135-143, 1999.

NELSON P. N.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. Change in a dispersible clay content, organic carbon, and electrolyte composition following incubation of sodic soil. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, n. 6, p.883-897, 1998.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanism and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, n. 1-3, p. 319-334, 1984.

OLIVEIRA, M.F.; COLONNA, I.; PRATES, H.T.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S. Sorção do herbicida Imazaquim em Latossolo sob plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n. 8, p.787-793, 2004.

OLSON, G. L.; McQUAID, B. F.; EASTERLING, K. N.; SCHEYER, J. M. Quantifying soil condition and productivity in Nebraska. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 357-369 (SSSA Special Publication, 49).

PARE, T.; DANIEL, H.; MOULIN, A. P.; TOWLEY-SMITH, L. Organic matter quality and structural stability of a black chernozemic soil under different manure and tillage practices. **Geoderma**, v.91, n. 3-4, p.311-326, 1999.

PIKUL, J. R.; ASAE, J. K. Infiltration and soil properties affected by annual cropping in the northern great plains. **Agronomy Journal**, v.87, n. 4, p.656-662, 1995.

PIERCE, F. J.; FURTIN, M. C.; STATON, M. J. Immediate and residual effects of zone-tillage in rotation with a tillage on soil physical properties and corn performance. **Soil and Tillage Research**, v. 24, n. 2, 149-165, 1992.

PERFECT, E.; KAY, B. D.; LOON, W. K. P. van; SHEARD, R. W.; POJASOK, T. Factors influencing soil structural stability within a growing season. **Soil Science Society of America Journal**, v.54, n. 1, p.173-179, 1990.

PERUMPRAL, J. V. Cone penetration application: a review. **Transaction of ASAE**, v.30, n. 4, p.939-944, 1987.

PRIMAVESI, O.; VIEIRA, S. R.; PRIMAVESI, A. C. A. Permeabilidade do solo: indicador sensível para manejos diferenciados. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 12., 1998, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p.147-148.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Dynamics of soil organic matter associated with particle size fractions of water-stable aggregates. **European Journal of Soil Science**, v.51, n. 4, p. 595-605, 2000.

RAIJ, B van.; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of tropics. **Soil Science Society American Proceedings**, v.36, n. 4, p.587-598, 1972.

RICHARD, G.; BOIZARD, H.; ROGER-STRADE, J.; BOIFFIN, J.; GUERIF, J. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. **Soil and Tillage Research**, v.51, n. 1-2, p.151-160, 1999.

ROGER-STRADE, J.; RICHARD, G.; BOIZARD, H.; BOIFFIN, J.; CANEILL, J.; MANICHON, H. Modelling structural changes in tilled topsoil over time as a function of cropping systems. **European Journal of Soil Science**, v.51, n. 3, p. 455-474, 2000.

ROSA JÚNIOR, E. J. **Efeito de sistemas de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos de Ponta Grossa**. 1984. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SALTON, J. C.; MIELNICZUCK, J. Relações entre sistemas de preparo, cobertura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, n. 3, p.313-319, 1995.

SARVASI, F. O. C. **Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo de solo**. 1994. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

SCHOJNING, P.; RASMUSSEN, KJ. Soil strength and soil pore characteristics for direct drilled and ploughed soils. **Soil and Tillage Research**, v.57, n. 1-2, p.69-82, 2000.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; FIORIN, J. E.; PAUTZ, C. V.; PASA, L. Efeito de sistemas de manejo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Ciência Rural**, v.27, n. 1, p.57-60, 1997.

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n. 3, p.407-414, 2005.

SILVA, I. F.; MIELNICKZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n. 1, p.113-117, 1997.

SILVA, I. F.; MIELNICKZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n. 1, p.113-117, 1997.

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

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. **Soil and Tillage Research**, v.44, n. 1-2, p.81-93, 1997.

SILVA, M. L.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n. 12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, F. I.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ARATANI, R. G.; ADRIOLLI, F. F.; ANDRIOLI, I. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho cultivado no sistema plantio direto. **Irriga**, v.13, n. 1, p.:191-204, 2008.

SILVEIRA, P. M.; SILVA, J. G.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Efeito de sistema de preparo na densidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: EMBRAPA, 1997. 1 CD-ROM

SINGH, B.; CHANASYK, D. S.; MCGILL, W. B. Soil hydraulic properties of an orthic black chernozem under long-term tillage and residue management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 76, n. 1, p. 63-71, 1996.

SIX, J.; PAUSTIN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregated-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, n. 2, p.681-689, 2000.

TARCHITZKY, J.; HATCHER, P. G.; CHEN, Y. Properties and distribution of substances and inorganic structure-stabilizing components in particle-size fractions of cultivated Mediterranean soils. **Soil Science**, v.165, n. 4, p.328-342, 2000.

TAVARES, M. H. F.; COSTA, A. C. S. Estudos dos efeitos da compactação de solos através de radiação gama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. Cerrados: fronteiras agrícola no século XXI - resumos. Goiânia: SBCS, 1993. 1 v.

TEBRUGGE, F.; DURING, R. A. Reducing tillage intensity: a review of results from a long-term study in Germany. **Soil and Tillage Research**, v.53, n. 1, p.15-28, 1999.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n. 2, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n. 2, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. da.; 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, n. 3-4, p.223-232, 1999.

UNGER, P. W. Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. **Soil and Tillage Research**, v.37, n. 1, p.67-75, 1996.

UNGER, P. W.; JONES, O. R. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. **Soil and Tillage Research**, v.45, n. 1-2, p.39-57, 1998.

URCHEI, M.A. **Efeito do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso e no crescimento e desenvolvimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) sob irrigação.** 1996. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

VANDENBYGAART, A. J.; PROTZ, R.; TOMLIN, A. D.; MILLER, J. J. Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. **Soil and Tillage Research**, v.51, n. 1-2, p.139-149, 1999.

VEEN, B. W.; BOONE, F. R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. **Soil and Tillage Research**, v.16, n. 1-2, p.219-226, 1990.

VEENHOF, D. W.; MCBRIDE, R. A. Overconsolidation in agricultural soils: I. Compression and consolidation behavior of remolded and structured soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 2, p.362-373, 1996.

VELLAJOS MERNES, F. J. **Influência de sistemas de preparo de solo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, Argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 1998. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

WERNER, D.; WERNER, B. Compaction and recovery of soil structure in a silty clay soil (chernozem) physical, computer tomography, and scanning electron microscopic investigations. **Journal of Plant Nutrition**, Bodenk, v.164, n. 1, p.79-90, 2001.

YAVUZCAN, H. Wheel traffic impact on soil conditions as influenced by tillage system in Central Anatolia. **Soil and Tillage Research**, v. 54, n. 3-4, p.129-138, 2000.

ZIMBACK, C. R. L.; MORAES, M. H.; DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M. Influência de diferentes sistemas de preparo de solo e formas de amostragem na obtenção da retenção de água em Latossolo roxo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.

**Embrapa**

---

**Solos**