



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.  
RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E PERMEABILIDADE DE LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO  
TÍPICO SOB SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS  
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, núm. 1, 2001, pp. 167-177  
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218347019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# **RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E PERMEABILIDADE DE LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO TÍPICO SOB SISTEMAS DE MANEJO NA REGIÃO DOS CERRADOS<sup>(1)</sup>**

**A. N. BEUTLER<sup>(2)</sup>, M. L. N. SILVA<sup>(3)</sup>, N. CURI<sup>(3)</sup>, M. M. FERREIRA<sup>(3)</sup>,  
J. C. CRUZ<sup>(4)</sup> & I. A. PEREIRA FILHO<sup>(4)</sup>**

## **RESUMO**

As consequências diretas do manejo inadequado do solo são a erosão, a redução da produtividade e a perda da sustentabilidade. Objetivou-se com este estudo avaliar a resistência à penetração (RP) e a permeabilidade do solo à água (PER) sob sistemas de manejo em uso na região dos cerrados. O estudo foi realizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas (MG), em Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa fase cerrado. O cerrado nativo propiciou menor densidade do solo, maior macroporosidade, maior volume total de poros, conseqüentemente, menor resistência à penetração (0,84 a 2,09 MPa) e maior permeabilidade (95 mm h<sup>-1</sup>). Foram verificados maiores valores de resistência à penetração vertical para o sistema com preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão, na profundidade de 15-30 cm no solo, sendo o valor 3,04 MPa classificado como alto, podendo ser um indicativo de restrição ao desenvolvimento radicular e compactação do solo. De modo geral, ao longo do perfil do solo, os maiores valores de RP foram observados para o plantio direto. Não houve diferenças significativas na PER entre os sistemas de manejo, estando os valores na faixa de 6 a 14 mm h<sup>-1</sup>, sendo a mesma classificada como lenta; estes valores foram bem inferiores aos do sistema em equilíbrio. Os atributos físicos utilizados neste estudo, como indicadores da qualidade do solo, apresentaram boa performance na distinção dos efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo em relação ao sistema em equilíbrio, contribuindo para o monitoramento do manejo sustentável de solos da região dos cerrados.

**Termos de indexação: qualidade do solo, plantio direto, arado de disco, grade aradora.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo – DCS, Universidade Federal de Lavras – UFLA, curso de Pós-Graduação em agronomia. Trabalho apresentado no 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference, West Lafayette, Indiana USA, 23 a 27 de maio de 1999. Recebido para publicação em fevereiro de 2000 e aprovado em novembro de 2000.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo e Pós-Graduando do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista da CAPES.

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

<sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa de Milho e Sorgo. Rod. MG 424, km 65, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG).

**SUMMARY:** *RESISTANCE TO PENETRATION AND PERMEABILITY OF A TYPIC DYSTROPHIC RED LATOSOL UNDER MANAGEMENT SYSTEMS IN THE CERRADO REGION*

*The direct consequences of inadequate soil management are erosion, productivity reduction and loss of sustainability. This study aimed to evaluate the resistance to penetration and permeability of soil to water under management systems used in the cerrado region. The study was conducted at Embrapa Corn and Sorghum, in Sete Lagoas (MG), using a cerrado phase, very clayey, typic dystrophic Red Latosol (Acrustox). The native cerrado provided lower soil density, higher macroporosity, higher total volume of pores, and consequently, smaller resistance to penetration (0.84 to 2.09 MPa) and higher permeability (95 mm h<sup>-1</sup>). Higher resistance to vertical penetration values were found for conventional tillage with disk plow and corn-soybean rotation, at 15-30 cm depth, being the 3.04 MPa value classified as high, which can be indicative of restriction to root development and soil compaction. In general, greater values of resistance to penetration were observed throughout the soil profile, for the no-tillage system. There were no significant differences in permeability among the management systems, with the values ranging from 6 to 14 mm h<sup>-1</sup> being classified as slow; these values were rather inferior than the equilibrium system. The physical attributes utilized in this study, as indicators of soil quality, presented a good distinction of the effects provided by the management systems in relation to those of the system in equilibrium, contributing for the monitoring of sustainable management of soils in the cerrado region.*

*Index terms: soil quality, no-tillage, disk plow, plow harrow.*

## INTRODUÇÃO

A região dos cerrados ocupa 24% da área do território brasileiro, tornando-se importante na produção de grãos com a expansão da fronteira agrícola. De modo geral, os sistemas de preparo nesta região caracterizam-se pelo alto grau de revolvimento do solo, por meio do uso da grade aradora e arado de discos, que acarretam impactos negativos nos atributos do solo, comprometendo a sustentabilidade ambiental (Silveira et al., 1997; Resck, 1998; Correchel et al., 1999).

O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Este monitoramento propicia melhor qualidade dos produtos agrícolas, mecanização consciente, um ambiente mais sadio para o homem e racionalização no uso de matérias-primas e dos recursos naturais, reduzindo a degradação ambiental (Doran & Parkin, 1994).

Basicamente, um atributo indicador da qualidade do solo deve ser sensível às variações do manejo ao qual está sendo submetido. Deve estar incluído em um banco de dados para que possa ser possível realizar comparações temporais. É também necessário que existam padrões de comparação com valores críticos bem definidos para as várias classes de solo, climas e sistemas de manejo e devem ser de preferência quantitativos (Doran & Parkin, 1994).

Islam & Weil (2000) consideram três grupos de atributos na avaliação da qualidade do solo: o primeiro grupo está relacionado com os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que apresentam oscilações em curto espaço de tempo, dentre os quais podem ser citados temperatura, pH, conteúdo de água, respiração do solo e teores de nutrientes; o segundo grupo engloba atributos denominados intermediários, os quais são alterados com o manejo após alguns anos, dentre estes incluem-se conteúdo de matéria orgânica, resistência à penetração do solo e permeabilidade do solo à água, e, por último têm-se os atributos definidos como permanentes, atributos inerentes ao solo, os quais não sofrem alterações a curto prazo, dentre estes podem ser citados componentes mineralógicos, textura, profundidade do solo, camadas de impedimentos e pedoclima.

Muitos autores têm apresentado definições para a qualidade do solo, dentre estas destaca-se a definição de Doran & Parkin (1994), segundo os quais a qualidade do solo é definida como a capacidade do solo em manter uma produtividade sustentável, melhorando o ambiente, a planta, o animal e o homem. Karlen & Stott (1994) destacaram uma série de atributos de solo para avaliar sua qualidade em relação à erosão hídrica, tais como: teores de matéria orgânica, densidade do solo, porosidade, resistência à penetração e permeabilidade do solo à água.

De acordo com Arshad et al. (1996), a densidade do solo acima de 1,40 Mg m<sup>-3</sup> para solos argilosos é

restritiva ao crescimento radicular. Uma série de trabalhos tem registrado, em plantio direto, valores superiores de densidade do solo e resistência à penetração na camada superficial, quando comparados aos do sistema convencional (Vieira & Muzilli, 1984; Centurion & Demattê, 1985; Sarvasi, 1994; Zimback et al., 1996; Klein, 1996; Silveira et al., 1997). Neste sentido, Henklain (1997), avaliando a influência do tempo de manejo do plantio direto na densidade e porosidade do solo, comprovou no quarto ano um incremento nos valores de densidade do solo, tendo como consequência menor porosidade total e macroporosidade em plantio direto, quando comparado ao manejo convencional (Vieira, 1981; De Maria et al., 1993).

Avaliando atributos indicadores da qualidade do solo, Harris et al. (1996) observaram, na profundidade de 30 cm, que a densidade do solo apresentou valores de 1,07, 1,39 e 1,31 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para área preservada, manejo convencional e plantio direto. Com o mesmo objetivo, Sarrantonio et al. (1996) encontraram valores médios de densidade do solo de 1,10, 1,26 e 0,73 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para agricultura orgânica, manejo convencional e floresta nativa, na profundidade de 7,6 cm.

Vários autores têm estudado o comportamento da porosidade do solo em diferentes sistemas de manejo. Secco et al. (1997), em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, encontraram porosidade total de 0,53 e 0,57 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, macroporosidade de 0,20 e 0,29 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e microporosidade de 0,32 e 0,28 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, para plantio direto e manejo convencional, respectivamente, na profundidade de 7 cm. Da Ros et al. (1997), em estudo e solo semelhantes, encontraram porosidade total de 0,52 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, macroporosidade de 0,19 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e microporosidade de 0,325 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, para plantio direto e manejo convencional, respectivamente, após cinco anos de cultivo, não verificando diferenças significativas entre os sistemas. Harris et al. (1996) desenvolveram estudos de avaliação da qualidade do solo em sistemas de manejo e encontraram valores para porosidade total do solo de 0,60, 0,48 e 0,51 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente, para área preservada, manejo convencional e plantio direto, tendo sido estas avaliações feitas na profundidade de 30 cm.

A resistência do solo à penetração aumenta com a compactação do solo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de certos valores que variam de 1,5 a 3,0 MPa, conforme Grant & Lanford (1993); e de 2,0 a 4,0 MPa, segundo Arshad et al. (1996), sendo admitidos valores superiores em plantio direto, na ordem de 5,0 MPa, observados por Ehlers et al. (1983). Este aspecto está relacionado com a permanência da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes, liberação de exsudatos radiculares, atividade biológica do solo mais efetiva, propiciando maior estabilidade dos agregados (Tisdall & Oades 1979; 1982).

Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas dificultando comparações entre sistemas de manejo (Beltrame et al., 1981); sendo este aspecto corrigido quando se realizam medições na capacidade de campo do solo (Arshad et al., 1996). Baldissera et al. (1994) comparando o efeito de dois sistemas de manejo do solo, ou seja, cultivo convencional e plantio direto e a testemunha, mata nativa, sobre a resistência à penetração em Latossolo Roxo, verificaram que a maior resistência foi constatada no sistema convencional, na ordem de 1,14 e 1,24 MPa, seguida do plantio direto, na ordem de 0,93 e 0,99 MPa, e mata nativa, com valores de 0,34 e 0,31 MPa, respectivamente, para as profundidades de 0-15 e 15-30 cm.

A permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da 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 relação entre continuidade de poros e capacidade de infiltração de água no solo, sendo esta mais eficaz em indicar variações entre os sistemas de manejo em relação a outras determinações. Estudo de Sarvasi (1994), em sistemas de manejo em Latossolo Roxo, encontrou permeabilidade de 23,02; 24,36 e 61,54 mm h<sup>-1</sup> para manejos convencionais com grade aradora e arado de discos e plantio direto, respectivamente. Castro (1995), em estudo e solo semelhantes, observou permeabilidade 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. Roth & Meyer (1983), trabalhando com chuva simulada nesta mesma classe de solo, encontraram taxa de infiltração básica de 59 mm h<sup>-1</sup> em plantio direto e, ao retirar a cobertura do solo, a infiltração se reduziu a 17 mm h<sup>-1</sup>, menor que a infiltração de 28 mm h<sup>-1</sup> observada no sistema convencional. Olson et al. (1996) estipularam as classes de 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 usados para avaliação da qualidade do solo em relação à erosão hídrica em sistemas de manejo.

É importante ressaltar, ainda, que, em solos tropicais, na região dos cerrados, as temperaturas mais elevadas aceleram a decomposição da matéria orgânica, levando à necessidade de contínuo aporte da mesma para manter a estrutura do solo em condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas, sendo de fundamental importância estudos que visem incluir culturas de rotação e de cobertura vegetal, objetivando a melhoria dos atributos físicos do solo importantes para a manutenção da qualidade do solo, da produtividade e da sustentabilidade ambiental.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resistência do solo à penetração e a permeabilidade do solo à água sob diferentes sistemas de manejo na região dos cerrados.

## MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas (MG) (19° 25' sul e 44° 15' oeste) e altitude de 732 m, com temperatura e precipitação médias anuais de 22,1°C e 1.340 mm, respectivamente. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Aw (tropical estacional de savana). O solo foi anteriormente classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico A moderado textura muito argilosa fase cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado. Atualmente, foi enquadrado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999). Os atributos mineralógicos e químicos do solo estudado podem ser observados no quadro 1.

Os sistemas de manejo estudados foram: preparo convencional com grade aradora e cultivo contínuo com milho (CGCM); preparo convencional com arado de discos e cultivo contínuo com milho (CDCM); preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão (CDRMF); plantio direto e cultivo contínuo com milho (PDCM); plantio direto e cultivo em rotação com milho e feijão (PDRMF), e cerrado nativo (CN), como testemunha referencial.

Os sistemas de manejo com rotação de culturas foram realizados desde 1992, enquanto os sistemas de manejo sem rotação de culturas, a partir de 1994. O milho foi semeado anualmente em outubro e, após a colheita em abril, foi semeado o feijão nos sistemas envolvendo rotação de culturas.

O experimento foi feito sob condições irrigadas, utilizando o sistema de aspersão, e o controle da irrigação efetuado por baterias de tensiômetros

instaladas a 20 cm de profundidade, irrigando-se sempre que a tensão de água no solo atingisse 0,7 bars. A produtividade do milho e do feijão foi obtida em área de 10 m<sup>2</sup> por unidade experimental, sendo a umidade corrigida para 15,5 e 13%, para milho e feijão, respectivamente.

Foram coletadas amostras deformadas e não deformadas, em março de 1998, com três repetições, nas profundidades de 0-5, 5-20 e 20-30 cm, para determinações físicas e químicas em laboratório. A análise granulométrica foi realizada pelo método de Bouyoucos (EMBRAPA, 1997), empregando-se NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> como dispersante, com agitação rápida (12.000 rpm), durante 20 min. O teor de carbono orgânico foi determinado segundo EMBRAPA (1997) e a matéria orgânica foi obtida multiplicando-se o teor de carbono orgânico pelo fator 1,724.

A densidade do solo foi obtida segundo Blake & Hartge (1986a), em amostras com estrutura não deformada, coletadas com amostrador de Uhland, e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (Blake & Hartge, 1986b). Determinou-se o volume total de poros segundo Danielson & Sutherland (1986). A microporosidade foi determinada em amostras com estrutura não deformada, previamente saturadas durante 24 h, utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre porosidade total e microporosidade (Grohmann, 1960).

Determinou-se a resistência à penetração vertical por meio do penetrômetro de impacto (modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF), segundo método de Stolf et al. (1983), com apoio do programa computacional de Stolf (1991) para a feitura dos cálculos, tendo sido os valores obtidos em kgf cm<sup>-2</sup> multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa.

A resistência à penetração horizontal foi realizada com micropenetrômetro de ponta de 6,4 mm de

**Quadro 1. Análise granulométrica e atributos mineralógicos e químicos em Latossolo Vermelho distrófico típico, na profundidade de 0-20 cm, Sete Lagoas (MG)**

Granulometria			Ct	Gb	Gt	Hm	Ataque sulfúrico			Ki	Kr	PESN
Argila	Silte	Areia total					SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
g kg <sup>-1</sup>												
582	234	184	310	160	9	46	234	319	120	1,25	1,01	4,0

Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: Goethita; Hm: Hematita; PESN: ponto de efeito salino nulo.

Fonte: Silva (1997).



diâmetro (modelo SOILTEST INC. CL-7000), em trincheiras abertas em cada unidade experimental na linha de plantio (quatro repetições por profundidade), segundo Bradford (1986), e os valores em  $\text{kg cm}^{-2}$  foram multiplicados por 0,31 para transformação em MPa, segundo Arshad et al. (1996). No quadro 2, são apresentadas as classes de resistência à penetração adaptadas do Soil Survey Staff (1993), citadas por Arshad et al. (1996).

A permeabilidade do solo foi avaliada no campo pela taxa constante de infiltração de água a 15 cm de profundidade, com duas cargas constantes de 3 e 6 cm de coluna d'água, utilizando permeâmetro de Guelph (Reynolds et al., 1992). No quadro 3, são apresentadas as classes de permeabilidade adaptadas do Soil Survey Staff (1993).

A análise estatística dos resultados consistiu da análise da variância, segundo delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, incluindo-se a profundidade do solo como subfator. Foi utilizado o teste de Scott & Knott (Scott & Knott, 1974) a 5% para comparação entre as médias nos sistemas de manejo. Foram também estabelecidas correlações de Pearson entre os atributos estudados.

**Quadro 2. Classes de resistência do solo à penetração<sup>(1)</sup>**

Classe	Resistência à penetração
	MPa
Extremamente baixa	< 0,01
Muito baixa	0,01-0,1
Baixa	0,1 - 1,0
Moderada	1,0 - 2,0
Alta	2,0 - 4,0
Muito alta	4,0 - 8,0
Extremamente alta	> 8,0

<sup>(1)</sup> Adaptadas de Soil Survey Staff (1993), citadas por Arshad et al. (1996).

**Quadro 3. Classes de permeabilidade do solo à água<sup>(1)</sup>**

Classe	Permeabilidade
	$\text{mm h}^{-1}$
Rápida	> 254
Moderada a rápida	254 -127
Moderada	127 - 63,5
Lenta a moderada	63,5-20
Lenta	20 - 5
Muito lenta	< 5

<sup>(1)</sup> Adaptadas de Soil Survey Staff (1993).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores teores de matéria orgânica (Quadro 4) foram observados na camada superficial (0-5 cm) para o cerrado nativo (CN), seguido dos sistemas de plantio direto (PDCM e PDRMF) e sistemas convencionais (CDRMF, CDCM e CGCM).

Já para a camada de 5-20 cm, houve diferenças significativas apenas entre o cerrado nativo (CN) e os sistemas de manejo. Não foram observadas diferenças significativas para os teores de matéria orgânica em profundidade, entre as camadas de 0-5 e 5-20 cm, para os sistemas estudados; já para a camada de 20-30 cm, foram observadas diferenças significativas para os sistemas CN, PDCM e CGCM.

Houve correlações significativas ( $P < 0,05$ ) entre matéria orgânica e atributos físicos abordados neste estudo, apresentando correlações com resistência à penetração vertical ( $R = -0,627$ ), resistência à penetração horizontal ( $R = -0,574$ ) e permeabilidade ( $R = 0,966$ ). As interações da matéria orgânica e atributos físicos (Abrão et al., 1979; Bertrame et al., 1981; Vieira & Muzilli, 1984; Arzeno, 1990; Tisdall & Oades, 1992; Grant & Lafond, 1993; Secco et al. 1997), aliadas ao revolvimento do solo e, ou, tráfego de máquinas (Centurion & Demattê, 1985; Sarvasi, 1994; Castro, 1995; Corsin & Ferraud, 1999), apresentaram influência direta na qualidade do solo em relação à erosão hídrica (Sarvasi, 1994; Arshad et al., 1996; Harris et al., 1996; Sarrantonio et al. 1996).

Os valores de densidade de partículas encontrados neste estudo (Quadro 4) corroboram os de Secco et al. (1997), que encontraram  $2,62 \text{ Mg m}^{-3}$ , e Da Ros et al. (1997), que obtiveram  $2,69 \text{ Mg m}^{-3}$ , ambos os estudos em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. A densidade de partículas foi superior no CGCM e CDCM na profundidade de 0-5 cm, sendo a causa relacionada com os menores teores de matéria orgânica.

Reichardt (1975) verificou não ser a densidade de partículas influenciada por alterações mecânicas de preparo do solo e estar sua variação associada à constituição mineralógica e ao conteúdo de matéria orgânica, bem como serem os atributos mineralógicos os mesmos entre os sistemas e a densidade do solo afetada pelos teores de matéria orgânica incorporados ao solo pelos sistemas de manejo, confirmando os resultados encontrados por Abrão et al. (1979).

A densidade do solo apresenta implicações diretas sobre a porosidade e infiltração de água no solo. Os valores de densidade do solo variaram de  $0,83$  a  $1,19 \text{ Mg m}^{-3}$ , para o CN e PDCM, respectivamente (Quadro 4). Estes resultados foram inferiores a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ , que restringe o crescimento radicular em solo argiloso, segundo Arshad et al. (1996).

Os valores encontrados neste estudo foram similares aos encontrados por Harris et al. (1996), os quais observaram, na profundidade de 30 cm, que

**Quadro 4. Atributos químicos e físicos de Latossolo Vermelho distrófico típico, em diferentes profundidades e sistemas de manejo, Sete Lagoas (MG)**

Manejo	MO	Dp	Ds	VTP	Microporo	Macroporo	CC
	g kg <sup>-1</sup>	Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
				0-5 cm			
CGCM	36 Ac	2,68 Aa	1,07 Ab	0,59 Ab	0,39 Ab	0,19 Ab	0,47 Aa
CDCM	33 Ac	2,71 Aa	1,10 Ab	0,59 Ab	0,42 Aa	0,17 Ab	0,49 Aa
CDRMF	38 Ac	2,63 Ab	1,03 Ab	0,60 Ab	0,39 Ab	0,18 Ab	0,40 Aa
PDCM	44 Ab	2,63 Bb	1,19 Aa	0,54 Bc	0,42 Aa	0,13 Ab	0,50 Aa
PDRMF	41 Ab	2,64 Ab	1,06 Ab	0,59 Bb	0,39 Ab	0,16 Bb	0,42 Aa
CN	52 Aa	2,65 Ab	0,85 Ac	0,67 Aa	0,36 Ac	0,27 Aa	0,40 Aa
				5-20 cm			
CGCM	37 Ab	2,67 Ab	1,11 Aa	0,58 Ac	0,41 Aa	0,16 Ac	0,48 Aa
CDCM	36 Ab	2,75 Aa	1,11 Aa	0,59 Ac	0,41 Aa	0,16 Ac	0,46 Aa
CDRMF	36 Ab	2,62 Ab	0,98 Ab	0,62 Ab	0,37 Ab	0,21 Ab	0,36 Aa
PDCM	36 Ab	2,67 Bb	1,11 Aa	0,58 Ac	0,41 Aa	0,17 Ac	0,49 Aa
PDRMF	33 Ab	2,66 Ab	0,97 Bb	0,63 Ab	0,37 Ab	0,21 Ab	0,40 Aa
CN	48 Aa	2,62 Ab	0,83 Ac	0,68 Aa	0,34 Ab	0,29 Aa	0,39 Aa
				2-0-30 cm			
CGCM	24 Bb	2,73 Aa	1,12 Aa	0,58 Ab	0,41 Aa	0,16 Ab	0,45 Aa
CDCM	34 Aa	2,74 Aa	1,04 Aa	0,61 Ab	0,41 Aa	0,19 Ab	0,48 Aa
CDRMF	32 Aa	2,66 Ab	0,94 Ab	0,64 Aa	0,36 Ab	0,21 Aa	0,33 Aa
PDCM	26 Bb	2,72 Aa	1,10 Aa	0,59 Ab	0,40 Aa	0,17 Ab	0,45 Aa
PDRMF	30 Aa	2,65 Bb	0,92 Bb	0,64 Aa	0,35 Ab	0,24 Aa	0,39 Aa
CN	35 Ba	2,69 Ab	0,88 Ab	0,66 Aa	0,37 Ab	0,24 Aa	0,39 Aa

MO: matéria orgânica; Dp: Densidade de partículas; Ds: Densidade do solo; VTP: Volume total de poros; CC: capacidade de campo. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, comparando profundidades e médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, na mesma profundidade não diferem entre si pelo teste Scott & Knott ( $P \leq 0,05$ ).

a densidade do solo apresentou valores de 1,07; 1,31 e 1,39 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para área preservada, plantio direto e manejo convencional, aos de Sarrantonio et al. (1996) que, em estudo semelhante, na profundidade de 7,6 cm, encontraram valores de densidade do solo de 0,73; 1,10 e 1,26 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para floresta nativa, agricultura orgânica e manejo convencional. Comparando o sistema em equilíbrio (CN) com os sistemas manejados, observa-se nestes um aumento significativo na densidade do solo em todas as profundidades.

Analisando os sistemas sob plantio direto na profundidade de 0-5 cm, observa-se que o PDCM condicionou maior densidade do solo (Quadro 4), apesar de não haver revolvimento do solo, fato atribuído, provavelmente, ao tráfego de máquinas. O aumento da densidade do solo na camada superficial em plantio direto nos primeiros anos de realização de experimentos foi também observado em outros trabalhos (Vieira & Muzilli, 1984; Centurion & Demattê, 1985; Sarvasi, 1994; Klein, 1996; Urchei & Rodrigues, 1996; Silveira et al., 1997). A maioria dos trabalhos aponta para uma compactação na camada superficial em sistemas de plantio direto, em experimentos de curta duração.

Henklain (1997), após 20 anos, observou menor densidade do solo e maior volume total de poros e macroporosidade em sistema de plantio direto.

Ainda na profundidade de 0-5 cm, a densidade do solo nos demais sistemas de manejo apresentou comportamento intermediário, não sendo verificadas diferenças significativas entre PDRMF e sistemas convencionais (CGCM, CDCM e CDRMF). Apesar de os sistemas sob plantio direto (PDCM e PDRMF) terem apresentado valores em média mais elevados de densidade do solo, este aspecto foi superado pelo maior aporte de matéria orgânica pelo não-revolvimento do solo, propiciando ação mais efetiva da atividade biológica no solo.

A porosidade total variou inversamente com a densidade do solo (Quadro 4); a amplitude dos valores foi de 0,54 a 0,68 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Os valores de porosidade total encontrados neste estudo foram superiores aos encontrados por Harris et al. (1996), Secco et al. (1997) e Da Ros et al. (1997). Os demais sistemas manejados apresentaram comportamento intermediário, não sendo significativas as diferenças entre eles. Houve redução significativa da porosidade do solo nos sistemas manejados em relação ao sistema em equilíbrio (CN).

Os maiores valores de microporosidade (Quadro 4) foram observados para CDCM e PDCM, na profundidade de 0-5 cm; possivelmente, ocorreu efeito da maior mobilização superficial do solo pelo arado de disco, em seguida, pelos sistemas PDRMF, CDRMF e CGCM. Os menores valores foram observados para o sistema em equilíbrio (CN). Com relação à macroporosidade (Quadro 4), na profundidade de 0-5 cm, não houve diferença entre os sistemas de manejo, que foram significativamente inferiores ao sistema em equilíbrio, estando condizente com o maior tráfego de máquinas (PDRMF e PDCM) e maior revolvimento (CGCM, CDCM e CDRMF).

Os resultados deste estudo concordam com os da maioria dos trabalhos que mencionam menor volume total de poros e menor macroporosidade em plantio direto na camada superficial (Urchei & Rodrigues, 1996; Lier & Trein, 1996; Secco et al., 1997). Já nas profundidades de 5-20 e 20-30 cm, detectaram-se menor macroporosidade e maior microporosidade em CGCM, CDCM e PDCM, condizentes com os maiores valores de densidade de solo (Quadro 4).

O conteúdo de água na capacidade de campo (Quadro 4) não apresentou diferenças significativas entre os sistemas. Este aspecto é bastante importante quanto se trata de avaliações da resistência à penetração, como discutido por Beltrame et al. (1981) e Arshad et al. (1996).

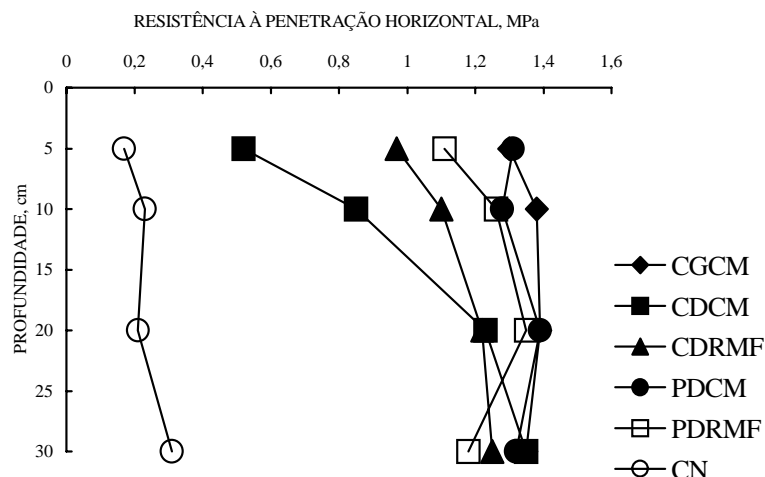
A resistência à penetração horizontal (Figura 1) e vertical (Figura 2) apresentou as mesmas tendências, sendo o coeficiente de correlação entre elas significativo e positivo ( $R = 0,798$ ); no entanto, a resistência à penetração horizontal revelou valores absolutos menores e maior diferenciação entre os sistemas de manejo. O sistema em equilíbrio (CN) propiciou menor resistência à penetração; este dado

é consonante com menor densidade do solo ( $R = 0,664$ ;  $P < 0,05$ ), maior macroporosidade ( $R = -0,681$ ), e volume total de poros ( $R = -0,675$ ).

Observou-se que o CGCM apresentou a maior resistência à penetração horizontal (Figura 1), ao longo do perfil do solo. Tal aspecto está relacionado com a ação da grade aradora no solo. A maior resistência à penetração no sistema de manejo convencional com grade aradora em relação ao plantio direto na profundidade de 10-20 cm foi observada também por De Maria et al. (1993) em experimento com oito anos de condução em solo argiloso. Já no CDCM, a menor resistência à penetração horizontal na camada 0-15 cm deveu-se, segundo observações de campo, ao preparo do solo e à conseqüente formação de torrões grandes em associação ao solo pulverizado, os quais, ao serem atingidos pela extremidade do penetrômetro, se quebravam com facilidade.

Os valores encontrados de resistência à penetração horizontal estão compreendidos nas classes baixa a moderada (Quadro 2), estando também abaixo dos limites críticos de impedimento ao desenvolvimento radicular, os quais, conforme Grant & Lanford (1993), variam de 1,5 a 3,0 MPa. Para Arshad et al. (1996), estes variam de 2,0 a 4,0 MPa, sendo admitidos valores superiores em plantio direto, na ordem de 5,0 MPa, conforme observações de Ehlers et al. (1983).

Na figura 2, observam-se os valores de resistência à penetração vertical. Os valores encontrados estão compreendidos nas classes baixa a alta (Quadro 2). Nos sistemas de manejo, foi verificado um gradiente crescente de resistência à penetração com o aumento da profundidade, atingindo a máxima resistência a 15-20 e 20-30 cm para os sistemas de plantio direto (PDCM e PDRMF); neste caso, estes valores estão



**Figura 1. Resistência à penetração horizontal em Latossolo Vermelho distrófico típico, em diferentes profundidades, sistemas de manejo e cerrado nativo, Sete Lagoas (MG).**



associados ao tráfego de máquinas. No caso do manejo convencional com arado de discos (CDRMF), com dois cultivos anuais, ocorreu o maior valor de resistência à penetração vertical (3,04 MPa) na profundidade de 25 cm, caracterizando a ação do arado de discos sempre na mesma profundidade e o tráfego de máquinas. Tais observações confirmam as de Castro (1995) em milho e De Maria et al. (1993) em soja.

Em alguns estudos, têm-se observado maior resistência à penetração em sistemas de manejo convencional em relação ao plantio direto (Baldissera et al., 1994; Silva et al., 2000), contradizendo os resultados encontrados neste estudo, em que os sistemas com plantio direto (PDCM e PDRMF) apresentaram os maiores valores de resistência à penetração vertical, observados na profundidade de 0-5 cm (Figura 2), concordando com o maior valor de densidade do solo e menor volume total de poros (Quadro 4). Tais aspectos estão relacionados com o tráfego de máquinas e com a ação escarificadora dos sulcadores da semeadora, além do tempo diferencial de condução dos ensaios.

Como discutido anteriormente, valores superiores de resistência à penetração em plantio direto, na ordem de 5,0 MPa, são admitidos (Ehlers et al., 1983), pois as raízes crescem por canais contínuos deixados pela fauna do solo e pelo sistema radicular decomposto. O incremento na resistência à penetração, observado nos sistemas manejados em relação ao sistema em equilíbrio (CN), sem correspondência com os valores de densidade do solo, foi observado também por Sarvasi (1994).

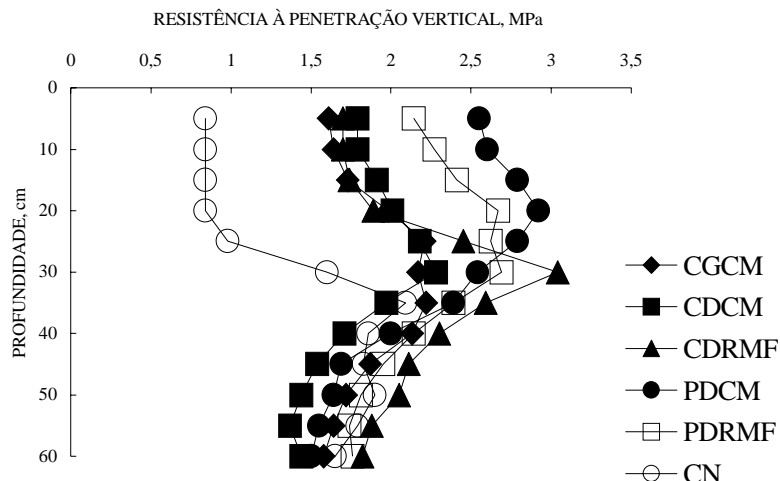
Neste estudo, os valores de resistência à penetração horizontal foram inferiores aos valores críticos, enquanto os valores de resistência à

penetração vertical atingiram a faixa de valores restritivos ao desenvolvimento radicular, notadamente para a camada de 20-30 cm.

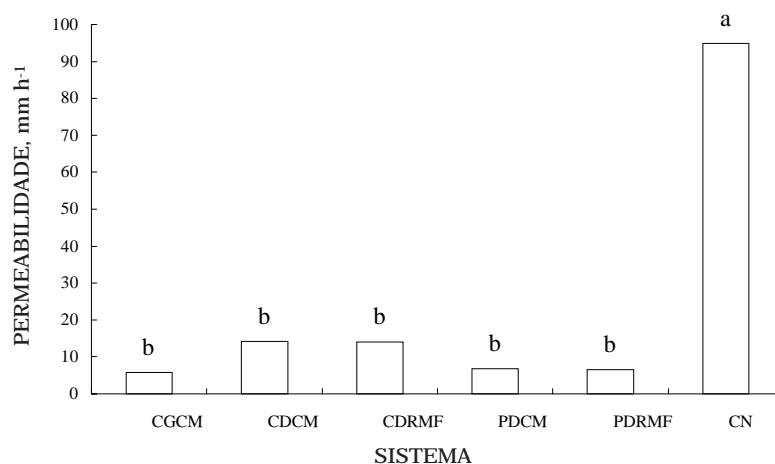
Na figura 3, observam-se os valores de permeabilidade do solo no sistema em equilíbrio e nos sistemas de manejo estudados. Estabeleceram-se correlações entre permeabilidade e resistência à penetração, as quais foram significativas ( $P < 0,05$ ) e negativas com a resistência à penetração vertical ( $R = -0,981$ ) e horizontal ( $R = -0,823$ ), ou seja, quanto menores os valores de permeabilidade, maiores os valores de resistência à penetração. O cerrado nativo destacou-se com valor bastante elevado de permeabilidade em relação aos sistemas de manejo (Figura 3), em consonância com o comportamento dos demais atributos físicos (Quadro 4).

Não foram observadas diferenças significativas na permeabilidade do solo à água entre os sistemas de manejo, sendo os valores enquadrados nas classes lenta e moderada (Quadro 3), para os sistemas manejados e cerrado nativo, respectivamente. Olson et al. (1996) propuseram uma classificação para permeabilidade do solo à água, como um dos critérios de avaliação da qualidade do solo a partir de seus atributos físicos, e, segundo este critério, os solos estudados foram enquadrados nas classes (média e alta) para os sistemas manejados e cerrado nativo, respectivamente.

Os atributos físicos resistência à penetração e permeabilidade do solo à água apresentam boa performance como indicadores da qualidade do solo, distinguindo os efeitos proporcionados pelos sistemas de manejo em relação ao sistema em equilíbrio, contribuindo para o monitoramento do manejo sustentável de solos da região dos cerrados.



**Figura 2. Resistência à penetração vertical em Latossolo Vermelho distrófico típico, em diferentes profundidades, sistemas de manejo e cerrado nativo, Sete Lagoas (MG).**



**Figura 3. Permeabilidade do solo na profundidade de 15 cm em Latossolo Vermelho distrófico típico, em diferentes sistemas de manejo e cerrado nativo, Sete Lagoas (MG).**

A produtividade média do milho foi maior nos sistemas sob rotação. Nos sistemas sem rotação de culturas, o menor valor foi observado no sistema convencional com grade aradora (Quadro 5). A produtividade média do feijão em rotação com o milho foi superior no sistema de plantio direto.

2. Os sistemas manejados apresentaram valores de permeabilidade à água bem inferiores àqueles observados sob cerrado nativo.

## LITERATURA CITADA

**Quadro 5. Produtividade média de milho (período de 1994 a 1998) e feijão (período de 1992 a 1996) em Latossolo Vermelho distrófico típico, em diferentes sistemas de manejo, Sete Lagoas (MG)**

Manejo	Milho	Feijão
	kg ha <sup>-1</sup>	
CGCM	4.875	--
CDCM	5.112	--
CDRMF	7.642	1.628
PDCM	5.114	--
PDRMF	6.313	2.205

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. R. Bras. Ci. Solo, 3:169-172, 1979.

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

ARZENO, J.L. Avaliação física de diferentes manejos de solo em Latossolo Roxo distrófico. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990. 259p. (Tese de Doutorado)

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, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p.416-417.

BELTRAME, L.F.C.; GONDIM, L.A.P. & TAYLOR, F.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 5:145-149, 1981.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986a. p.363-375.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Partycle density. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986b. p.377-382.

## CONCLUSÕES

1. De modo geral, independentemente da profundidade, os maiores valores de resistência à penetração foram observados para o plantio direto. Nos sistemas com preparo convencional com arado de discos e cultivo em rotação com milho e feijão, os maiores valores de resistência à penetração ocorreram na profundidade de 15-30 cm do solo.

- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.443-460.
- CASTRO, O.M. Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 174p. (Tese de Doutorado)
- CENTURION, J.F. & DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. R. Bras. Ci. Solo, 9:263-266, 1985.
- CORRECHEL, V.; SILVA, A.P. & TORMENA, C.A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:165-173, 1999.
- CORSIN, P.C. & FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesq. Agropec. Bras., 34:289-298, 1999.
- DAROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. R. Bras. Ci. Solo, 21:241-247, 1997.
- DANIELSON, R.E. & SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. 2.ed. Part 1. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.443-461.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos e desenvolvimento radicular de soja em solo argiloso sob diferentes métodos de preparo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 1993, Goiânia. Resumos. Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.41-42.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21 (SSSA Special Publication, 35)
- EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. Soil Till. Res. 3:261-275, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análises do solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.
- GRANT, C.A. & LAFOND, G.P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci., 73:223-232, 1993.
- GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia, 19:319-328, 1960.
- HARRIS, R.F.; KARLEN, D.L. & MULLA, D.J.A. A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America. 1996. p.61-82 (SSSA Special publication, 49)
- HENKLAIN, 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. (CD ROM)
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. J. Soil Water Conserv., 55:69-78, 2000.
- 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., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72 (SSSA Special Publication, 35)
- KLEIN, V.A. Densidade do solo em área com plantio direto submetido a diferentes manejos. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996. Águas de Lindóia. Resumos Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD ROM)
- 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., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.357-369 (SSSA Special Publication, 49)
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Piracicaba, CNEN – Fundação Cargill, 1975. 268p.
- RESCK, D.V.S. Plantio direto: desafios para os cerrados. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., FERTIBIO 98, 1998, Caxambu. Resumos. Caxambu, 1998. p.32-33.
- REYNOLDS, W.D.; VIEIRA, S.R. & TOPP, G.C. An assessment of the single-head analysis for the constant head well permeameter. Can. J. Soil Sci., 72:489-501, 1992.
- ROTH, C.H. & MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo Roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob o preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983, Resumos. Curitiba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.101-102.
- SARRANTONIO, M.; DORAN, J.W.; LIEBIG, M.A. & HALVORSON, J.J. On – farm assessment of soil quality and health. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.83-105 (SSSA Special Publication, 49).
- SARVASI, F.O.C. Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1994. 147p. (Tese de Mestrado)

- SCOTT, A.J. & KNOTT, M. Accouter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. *Biometrics*, 30:507-512, 1974.
- 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. *Ci. Rural*, 27:57-60, 1997.
- SILVA, M.L.N. Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1997. 154p.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N. & BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2485-2492, 2000.
- 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, 1997. (CD ROM)
- SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. (Handbook, 18)
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:229-235, 1991.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1993. 8p. (Série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1)
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- TISDALL, J.M. & OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by the root system of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.*, 17:429-441, 1979.
- URCHEI, M.A. & RODRIGUES, J.D. Efeito do plantio direto e do preparo convencional em alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Escuro de Cerrado, sob pivô central. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. Resumos Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD ROM)
- van LIER, Q.J. & TREIN, C.R. Influência do manejo agrícola sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo na região das missões (RS). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. Resumos Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD ROM)
- VIEIRA, M.J. & MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 19:873-882, 1984.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Estado do Paraná. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 1981. p.19-30. (IAPAR. Circular, 23)
- ZIMBACK, C.R.L.; MORAES, M.H.; DE MARIA, I.C. & CASTRO, O.M. Influência de diferentes preparos do 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 Expandidos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. (CD ROM)

