



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B.
RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO
MILHO (*Zea mays*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM UM LATOSOLO ROXO

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 25, núm. 3, 2001, pp. 725-730

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218337023>

- ▶ 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 DO SOLO À PENETRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO MILHO (*Zea mays*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO EM UM LATOSOLO ROXO⁽¹⁾

**J. TAVARES FILHO⁽²⁾, G. M. C. BARBOSA⁽³⁾,
M. F. GUIMARÃES⁽²⁾ & I. C. B. FONSECA⁽²⁾**

RESUMO

As modificações estruturais causadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo podem resultar em maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas. Assim, este trabalho teve como objetivo estudar, em condições de campo, os efeitos da estrutura, umidade e resistência do solo à penetração no desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*), sob sistema convencional (aração mais grade niveladora há mais de dez anos) e plantio direto (há mais de vinte anos). As avaliações foram realizadas em um Latossolo Roxo argiloso, na região norte do estado do Paraná - Brasil, cultivado com milho, no verão, e trigo, no inverno. Os resultados mostraram que valores de resistência do solo à penetração superiores a 3,5 MPa não restringiram desenvolvimento radicular do milho, porém influenciaram a sua morfologia. O plantio direto apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular do que o sistema convencional, tendo sido sua resistência mais afetada pela distribuição estrutural do que pela umidade do solo.

Termos de indexação: perfil cultural, compactação de solo, umidade gravimétrica.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em outubro de 2000 e aprovado em fevereiro de 2001.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL. Caixa Postal 6001, CEP 86051-990 Londrina (PR). E-mail: tavares@uel.br

⁽³⁾ Pós Graduando em Agronomia, UEL. Bolsista da CAPES.

SUMMARY: *SOIL RESISTENCE TO PENETRATION AND CORN (*Zea mays*) ROOT SYSTEM DEVELOPMENT UNDER DIFFERENT SOIL MANAGEMENT ON A LATOSOLO ROXO (OXISOL)*

The structural modifications caused by the different management systems to the soil can result in greater or lower compaction, which may change bulk density, porosity, water infiltration in the soil and crop root development. The present work aims to study the effects of structure soil moisture and soil resistance in the distribution of the corn root system in clay soil and under field condition, using conventional system (plowing plus leveler grille) for over 10 years, and no-tillage for over 20 years. Evaluations were carried out in "Dusky-Red Latosol" (Oxisol) in the northern region of Paraná, Brazil which was cultivated with corn during the summer and wheat in the winter. The results showed that soil resistance penetration values greater than 3.5 MPa did not constrain the corn root system development, but influenced its morphology. No-tillage system presented better structural conditions for root development than the conventional tillage and its resistance was much more affected by its structural distribution than by the soil moisture content.

Index terms: *crop profile, soil compaction, gravimetric moisture.*

INTRODUÇÃO

Os diferentes sistemas de manejo de solos têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Todavia, o desrespeito às condições mais favoráveis (solo úmido - consistência friável) para o preparo do solo e o uso de máquinas cada vez maiores e pesadas para essas operações podem levar a modificações na estrutura do solo, causando-lhe maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas, e, consequentemente, reduzir sua produtividade (Derpsch et al., 1991; Tavares Filho, 1995; Tavares Filho & Tessier, 1998; De Maria et al., 1999).

Essas modificações estruturais poderão ser diferentes de acordo com o tipo de preparo efetuado no solo. Acredita-se que os sistemas ditos convencionais causem as maiores modificações estruturais, como é relatado por Bauder et al. (1981) e Tavares Filho & Tessier (1998), os quais mostram que o sistema de manejo convencional destaca-se como um sistema que, além de pulverizar a superfície dos solos, deixando-os mais suscetíveis ao processo de erosão, propicia a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos implementos.

Por outro lado, o plantio direto, que foi desenvolvido com a finalidade de eliminar a mobilização superficial dos solos e mantê-los cobertos com restos culturais, buscando-se assim a redução da erosão, o aumento do teor de matéria orgânica e a economia de combustíveis nas operações agrícolas (De Maria et al., 1999), provoca certa compactação superficial

do solo, caracterizada pelo aumento da densidade do solo e redução de sua porosidade total (Tavares Filho, 1995; Tavares Filho & Tessier, 1998; De Maria et al., 1999), a qual poderá restringir o desenvolvimento radicular das culturas.

Sabe-se que um solo com resistência variando de 1 a 3,5 MPa (Taylor & Burnett, 1964; Gerard et al., 1972; Sene et al., 1985; Nesmith, 1987; Canarache, 1990; Merotto & Mundstock, 1999) poderá restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes. Essa restrição poderá também ser afetada pela estrutura do solo, cujo estudo pode ser feito pela metodologia do perfil cultural, que, além de propiciar um estudo mais detalhado da evolução estrutural e avaliar os atributos físicos do solo (Tavares Filho et al., 1999), permite a inspeção e a mensuração do número de raízes presentes (Tardieu & Manichon, 1986). Desta forma, pode-se relacionar e explicar, com maior clareza, os efeitos da compactação no desenvolvimento radicular e, por consequência, no desenvolvimento das culturas.

Portanto, um diagnóstico qualitativo (distribuição espacial das estruturas no perfil do solo) e quantitativo (grau da compactação do solo) ganha importância, não só para auxiliar a verificação da qualidade do manejo utilizado, mas também para auxiliar o estabelecimento de limites de compactação que não afetem o desenvolvimento radicular das plantas nos diferentes sistemas de manejo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo estudar, em um Latossolo Roxo argiloso e em condições de campo, os efeitos da estrutura, umidade e resistência do solo à penetração no desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*), sob sistema convencional e plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas em duas propriedades agrícolas, sob Latossolo Roxo argiloso mantido em condições químicas ideais para o desenvolvimento das culturas, com teor de argila variando de 730 a 800 g kg⁻¹ entre 0-0,60 m para as duas áreas estudadas, localizadas na região norte do Paraná (Brasil), com clima Cfa - subtropical úmido (segundo classificação de Köppen). A primeira propriedade é cultivada com milho/trigo no sistema convencional (uma aração e duas gradagens niveladoras) há mais de 10 anos, e a segunda, com as mesmas culturas no sistema plantio direto há mais de 20 anos.

Nas duas parcelas, foram realizadas avaliações não só da resistência do solo à penetração, com penetrômetro de impacto (Stolf et al., 1983), mas também da distribuição espacial das estruturas e da distribuição do sistema radicular no perfil do solo (Tavares Filho et al., 1999). A resistência à penetração foi determinada a partir de 10 pontos inteiramente casualizados, feitos na fase de pleno desenvolvimento das culturas, quando foi avaliado o número de impactos a cada 0,10 m, na camada de 0-0,60 m de profundidade. Dada a influência da umidade nas determinações com o penetrômetro, tomou-se o cuidado de realizar os 10 pontos em um mesmo dia para garantir as mesmas condições de umidade do solo durante a realização da penetrometria. Os dados obtidos em número de impactos por dm⁻¹ foram transformados para resistência do solo à penetração (MPa). Para esta transformação, utilizou-se a equação apresentada por Stolf (1991). Os resultados foram apresentados em valores médios para cada 0,10 m de

profundidade, bem como calculados o coeficiente de variação e o intervalo de confiança a 95%.

Em cada área de estudo (plantio direto e sistema convencional) onde se realizou a penetrometria, escolheu-se um local no centro das áreas para a abertura de uma trincheira de 2,5 x 1,0 x 1,0 m perpendicular à linha de plantio para descrição qualitativa do estado físico das estruturas do solo e da distribuição do sistema radicular do milho na época de pleno florescimento, segundo o método do perfil cultural (Tavares Filho et al., 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da resistência do solo à penetração, obtidos com o penetrômetro de impacto, são apresentados na figura 1a. Pode-se observar que a resistência do solo até 0,15 m foi maior no plantio direto (3,54 MPa) do que no sistema convencional (2,24 MPa). Na camada de 0,15 a 0,35 m, não foi possível verificar diferença significativa a 5% entre os valores encontrados para os dois sistemas de manejo, embora os valores médios de resistência para esta profundidade tenham sido maiores no sistema convencional (4,06 MPa) do que no plantio direto (3,91 MPa). A partir de 0,35 m, os valores de resistência mostraram-se significativamente inferiores no sistema plantio direto em relação ao sistema convencional.

Esses resultados estão de acordo com De Maria et al. (1999); Tavares Filho (1995) e Tavares Filho & Tessier (1998) que, trabalhando com caracterização de atributos físicos em diferentes sistemas de manejo em Latossolos Roxo, também observaram que a

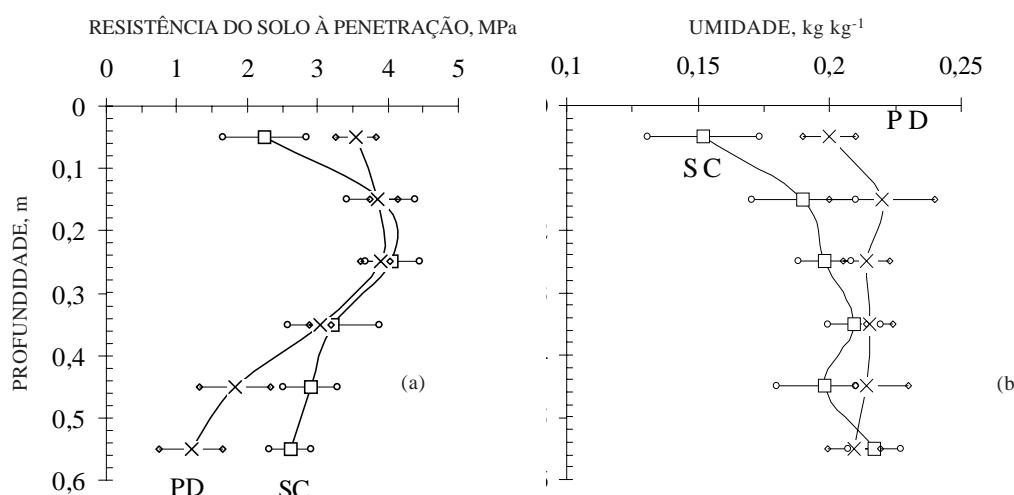


Figura 1. Valores médios e intervalo de confiança (95%) de resistência do solo à penetração (a) e umidade (b) dos solos cultivados com milho no sistema convencional (SC) e no plantio direto (PD) em um Latossolo Roxo.

resistência do solo foi maior no plantio direto na camada mais superficial (entre 0-0,15 m) do que no sistema convencional, provavelmente por causa do tráfego de maquinário de grande porte utilizado em plantio, tratos culturais e colheita no sistema plantio direto. Abaixo dessa camada superficial, os valores da resistência do solo à penetração nas diferentes estruturas analisadas nos dois perfis foram iguais ou superiores no sistema convencional em relação aos valores encontrados no sistema plantio direto (Derpsch et al., 1991; Centurion & Dematté, 1992). Segundo Bauder et al. (1981) e Tormena & Roloff (1996), os efeitos do constante trabalho do solo no sistema convencional provocaram o aparecimento de camadas mais compactadas ("pé de grade") em torno de 0,20 m de profundidade.

Em relação à umidade do solo, pode-se observar, pela figura 1b, que somente para a camada de solo de 0-0,10 m a umidade no plantio direto foi significativamente maior ($0,171 \text{ kg kg}^{-1}$), a 5%, quando comparada com a umidade do sistema convencional ($0,152 \text{ kg kg}^{-1}$). Para as camadas de solo mais profundas (entre 0,10-0,6 m), mesmo não existindo diferença significativa nos valores de umidade entre os dois sistemas, observou-se que a umidade foi maior no plantio direto que no sistema convencional. A maior retenção de água no plantio direto foi verificada por outros autores, como Derpsch et al. (1991); Tavares Filho & Tessier (1998) e De Maria et al. (1999), e refletia, além de maior capacidade de infiltração e retenção da água no solo, menor evaporação graças à presença de restos vegetais na superfície do solo sob plantio direto.

Os valores de resistência do solo à penetração, obtidos para os dois sistemas estudados, indicam o

aparecimento de volumes de solo compactos com valores acima dos citados na literatura (1 MPa - Gerard et al. (1972), 2 MPa - Taylor & Burnett (1964), Nesmith (1987), 2,5 MPa - Sene et al. (1985), Canarache (1990) e 3,5 MPa - Merotto & Mundstock (1999)), como restritivos ao desenvolvimento radicular. A fim de verificar se esses valores máximos de resistência do solo à penetração obtidos neste trabalho (3,91 MPa, para o plantio direto, e 4,06 MPa, para o sistema convencional), estavam sendo restritivos ao desenvolvimento radicular da cultura do milho, por estarem acima dos valores citados na literatura, realizou-se a análise dos perfis culturais (Figura 2) com descrição qualitativa do sistema radicular.

Para os dois perfis estudados, verificou-se na superfície do solo um volume de solo livre (L), não compactado e poroso, constituído de torrões de vários tamanhos (1 a 5 cm de diâmetro) e formas e terra fina (solo pulverizado). No caso do perfil sob cultivo convencional, observou-se que este volume L foi maior (0-0,15 m) que no caso do solo sob plantio direto (0-0,05 m). Verificou-se, ainda, nos dois sistemas de cultivo, grande concentração de raízes finas com aspecto retilíneo, sem tortuosidades impostas por impedimento físico do solo e com muitas ramificações laterais e pêlos radiculares. Abaixo deste primeiro volume, os perfis culturais diferenciaram-se claramente, segundo o manejo utilizado.

No caso do sistema convencional, observou-se um volume C Δ entre 0,15-0,30 m, homogêneo, sem descontinuidade macroscópica (fissuras), formado por torrões principalmente cúbicos, e até laminares, com estado interno compacto (Δ) sem porosidade

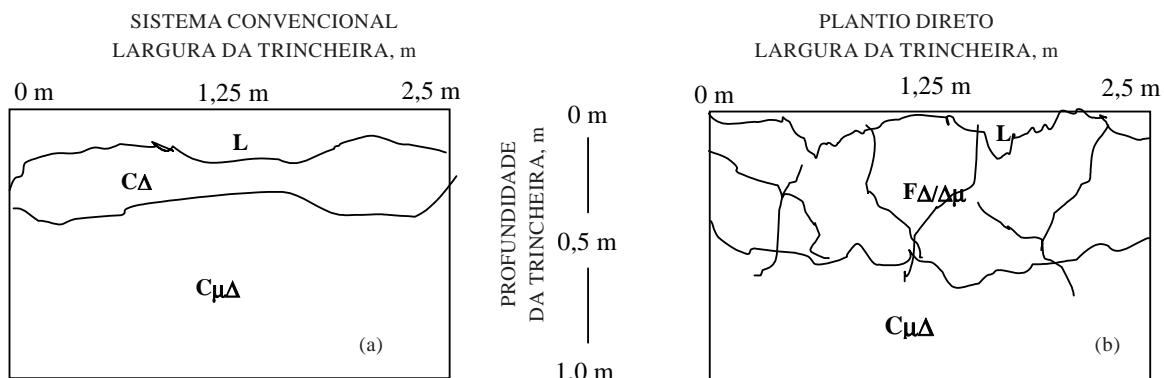


Figura 2. Representação esquemática das diferentes organizações dos perfis culturais, sob sistema convencional (a) e plantio direto (b) em Latossolo Roxo. Legenda: L- Volume de solo livre, poroso, constituído de solo pulverizado e torrões de tamanho variados; CΔ- Volume de solo homogêneo (C), formado por torrões compactos (Δ), sem porosidade visível; FΔ/Δμ- Volume de solo fissurado (F), com porosidade fissural visível, formado por torrões compactos (Δ) e em processo de compactação (Δμ). CμΔ- Volume de solo homogêneo (C), formado por torrões (μΔ), porosos, com aspecto mais para não compacto (μ) do que compacto (Δ).

visível. Na transição entre o volume L e este volume, percebeu-se uma fina camada compacta ("pé de grade"), a qual praticamente impedia a penetração das raízes, preferencialmente horizontalizadas e com diâmetro entre 1 e 2 mm. No entanto, verificou-se que algumas raízes conseguiam transpor essa barreira nos pontos de ruptura entre torrões e envolviam os torrões compactos (Δ) deste volume. Em alguns casos, penetraram esses torrões compactos; porém, eram raízes praticamente sem ramificações, predominantemente lisas (sem ou com poucos pêlos radiculares localizados preferencialmente nas extremidades das raízes) e bem tortuosas, com desenvolvimento predominantemente na diagonal.

Na seqüência desse volume, a partir de aproximadamente 0,30-0,40 m de profundidade, verificou-se um volume $C\mu\Delta$ homogêneo sem descontinuidade macroscópica (fissuras), relativamente compacto, representando uma transição entre torrões poliédricos compactos (Δ) e torrões não-compactos (μ). É um volume com porosidade visível e com a presença de raízes que voltaram a apresentar ramificação, sendo direcionadas preferencialmente na vertical e com pouca tortuosidade, aspecto mais fino e mais pêlos radiculares, com distribuição mais uniforme, quando comparadas com as raízes da camada $C\Delta$.

No caso do plantio direto, a fina camada L foi seguida de um volume $F\Delta/\Delta\mu$ entre 0,05-0,60 m, com descontinuidade macroscópica (fissuras) e porosidade visível, formado por torrões poliédricos e cúbicos compactos (Δ) e torrões poliédricos em processo de compactação ($\Delta\mu$). O desenvolvimento das raízes neste volume mostrou-se maior e estas estavam presentes predominantemente nas fissuras que envolviam os torrões do solo, nos pontos de ruptura entre eles. Eram raízes finas, com aspecto achatado, ramificadas e com poucos pêlos radiculares, e que mostravam crescimento bastante variado no que diz respeito ao sentido horizontal, ou vertical, dependendo do sentido das fissuras. Na seqüência desse volume, a partir de aproximadamente 0,60 m de profundidade, surgiu um volume $C\mu\Delta$, com morfologia e desenvolvimento radicular semelhante ao descrito para o sistema convencional, que apresentava a mesma estrutura.

Esses resultados encontrados a partir da descrição do perfil cultural, conforme Barber (1971), Tavares Filho (1995), Mello Ivo & Mieliaczuk (1999), permitiram verificar que os valores de resistência do solo à penetração apresentados na literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular (1 a 3,5 MPa) não foram impedimentos para o enraizamento nos dois sistemas de manejo do solo analisados, pois as raízes estavam presentes por todo o perfil do solo nos dois sistemas; sobretudo no plantio direto, na camada superficial, independentemente da resistência do solo à penetração. Tais raízes

apresentavam entretanto, deformações morfológicas exteriorizadas pelo aumento do diâmetro, tortuosidade e poucos pêlos radiculares próximos às extremidades.

Desta forma, fica claro que, mesmo sendo detectados valores de resistência de solo à penetração acima dos relatados pela literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular, se existirem estruturas que permitam a difusão de oxigênio, condições químicas e de umidade do solo ideais, as raízes vão sempre procurar pontos de menor resistência para seu desenvolvimento, embora sofram deformações morfológicas. Não se pode também deixar de levar em conta o fato de que a resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é normalmente menor do que a resistência determinada pelo penetrômetro (Veen & Boone, 1990).

Uma evidência da influência da estrutura do solo na definição das condições físicas para o desenvolvimento radicular é que um solo deve apresentar acima de 10% de porosidade de aeração para oferecer condições favoráveis ao bom desenvolvimento radicular das plantas (Hanks & Thorp, 1956; Eavis, 1972) e, para alguns autores (Ehlers et al., 1983; Bengough & Mullins, 1990; Materechera et al., 1991), as culturas podem apresentar crescimento radicular em diferentes valores de resistência crítica. Boone et al. (1987) demonstraram que, em solo compactado com alta resistência ou reduzida difusão de oxigênio, a restrição ao crescimento das plantas dependeu da distribuição pluviométrica, ou seja, das condições de umidade do solo. Para Davies & Zangh (1991), as raízes parecem dispor de mecanismos que detectam como estão as condições físicas do solo, procurando se adaptar a elas, para garantir, da melhor maneira possível, o desenvolvimento da parte aérea do vegetal.

Os dois sistemas de manejo de solo estudados causaram modificações na estrutura do solo, provocando camadas com diferentes graus de compactação, definidas pelo perfil cultural e pela resistência do solo à penetração.

Entretanto, essas modificações estruturais parecem ser mais restritivas ao desenvolvimento radicular no sistema convencional, onde ocorre a estrutura $C\Delta$, que caracteriza o volume de solo como muito compacto, do que no plantio direto, que revela estruturas mais fissuradas e menos compactas ($F\Delta/\Delta\mu$). Neste último, foi detectada maior abundância de raízes, sendo estas mais ramificadas, com mais pêlos radiculares e menos tortuosas, atributos que podem caracterizar maior facilidade para o desenvolvimento radicular, concordando com Lal (1978), segundo o qual os poros formados por raízes que apodrecem e por minhocas e a maior umidade dos solos pouco mobilizados facilitam o crescimento radicular.

CONCLUSÕES

1. Valores de resistência do solo à penetração, apresentados na literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular (1 a 3,5 MPa), não restringiram o desenvolvimento radicular do milho nos dois sistemas de manejo do solo analisados, porém influenciaram a morfologia deste.
2. O plantio direto apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular do milho que o sistema convencional.
3. Os valores de resistência do solo à penetração no plantio direto foram mais afetados pela distribuição estrutural do que pela umidade do solo.

LITERATURA CITADA

- BARBER, S.A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays* L.) root distribution and morphology. *Agron. J.*, 63:724-726, 1971.
- BAUDER, J.W.; RANDAL, G.W. & SWAN, J.B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:802-806, 1981.
- BENGHOUGH, A.G. & MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.*, 41:341-358, 1990.
- BOONE, F.R.; WERF, H.M.G. van der; KROESBERGEN, B.; HAAG, B.A. tem; BOERS, A. The effect of compactation of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage. II. Soil conditions and growth. *Neth. J. Agric. Res.*, 35:113-128, 1987.
- CANARACHE, A. Penetr - a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. *Soil Till. Res.*, 16:51-70, 1990.
- CENTURION, J.F. & DEMATTÉ, J.L.I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 27:315-324, 1992.
- DAVIES, W.J. & ZANGH, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *An. Rev. Plant Phy. Mol. Biol.*, 42:55-76, 1991.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo.*, 23:703-709, 1999.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. *Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, 1991. 272p.
- EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting 1seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. *Plant Soil*, 36:613-622, 1972.
- EHLERS, W.W.; KÖPKE, F.; HESSE, F. & BÖHM, W. Penetration resistance and growth root of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil Till. Res.*, 3:261-275, 1983.
- GERARD, C.J.; MEHTA, H.C. & HINOJOSA, F. Root growth in a clay soil. *Soil Sci.*, 114:37-49, 1972.
- HANKS, R.J. & THORO, F.C. Seedling emergence of wheat as related to soil moisture content, bulk density, oxygen diffusion rate, and crust strength. *Soil Sci. Am. Proc.*, 20:307-309, 1956.
- LAL, R. Influence of within and between row mulching on soil temperature, soil moisture root development and yield of maize (*Zea mays* L.) in tropical soil. *Fild Crops Res.*, 1:127-129, 1978.
- MATERECHERA, S.A.; DEXTER, A.R. & ALSON, A.M. Penetration of very strong soils by seedling of different plant species. *Plant Soil*, 135:31-41, 1991.
- MEROTTO, A. & MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:197-202, 1999.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:135-143, 1999.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:193-186, 1987.
- SENE, M.; VEPRASKAS, M.J.; NADERMAN, G.C. & DENTON, H.P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:422-427, 1985.
- STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR/STOLF;. STAB - Açúc.Alcool Subprod., 3:18-23, 1983.
- 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.
- TARDIEU, F. & MANICHON, H. Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. *Agronomie*, 6:415-425, 1986.
- TAVARES FILHO, J. Organisation et comportement des latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur. Nancy, Université de Nancy I, 1995. 229p. (Tese de Doutorado)
- TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C. & NEVES, C.S.V.J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:393-399, 1999.
- TAVARES FILHO, J. & TESSIER, D. Influence des pratiques culturelles sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). Étude Gestion Sols, 5:61-71, 1998.
- TAYLOR, H.M. & BURNETT, E. Influence of soil on the root growth habitat of plants. *Soil Sci.*, 98:174-180, 1964.
- TORMENA, D.A. & ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:333-339, 1996.
- VENN, B.W. & BOONE, F.R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. *Soil Till. Res.*, 16:219-226, 1990.