

DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE COBERTURA EM SOLO COMPACTADO

COVER CROPS GROWTH IN COMPACTED SOIL

Juliano Carlos CALONEGO¹; Thiago Carneiro GOMES²; Carlos Henrique dos SANTOS¹; Carlos Sérgio TIRITAN¹

1. Professor, Doutor, Centro de Ciências Agrárias, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil. juliano@unoeste.br; 2. Discente do curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, SP, Brasil;

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento aéreo e radicular de três espécies de plantas de cobertura em condições de solo compactado. O experimento foi realizado em vasos montados com anéis de cano PVC. Cada vaso foi constituído por três anéis, sendo os anéis das extremidades com 15 cm de altura e o anel intermediário com 5 cm de altura, todos contendo 20cm de diâmetro. No anel intermediário acomodou-se solo de forma que o mesmo apresenta-se densidades de 1,6 Kg dm⁻³ (compactado) e de 1,1 Kg dm⁻³ (não compactado). Após a montagem, os vasos foram cultivados com as espécies de plantas de cobertura: labe labe (*Dolichos lab lab*), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e braquiária (*Brachiaria ruziziensis*). O experimento foi conduzido delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 3x2 (três espécies e dois níveis de compactação. Após 54 dias da emergência das plantas determinou-se a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes em cada camada dos vasos. A compactação do solo não reduziu produção de massa seca da parte aérea e radicular das espécies. Na presença de solo compactado, houve aumento no crescimento radicular de *Brachiaria ruziziensis* na camada intermediária do vaso. O sorgo e a braquiária foram as espécies com maior potencial para estruturar solos compactados. O sorgo foi a espécie com maior eficiência para colonização de raízes na camada inferior do vaso, independente da presença ou não de camada intermediária compactada.

PALAVRAS-CHAVE: *Dolichos lab lab*. *Sorghum bicolor* L. *Brachiaria ruziziensis*. Crescimento Radicular. Compactação do solo.

INTRODUÇÃO

O termo compactação do solo refere-se à compressão do solo não saturado durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução de seu volume (GUPTA; ALLMARAS, 1987; GUPTA et al., 1989), resultante da expulsão de ar dos poros do solo. A compactação excessiva pode limitar a adsorção e, ou, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e o desenvolvimento do sistema radicular (BICKI ; SIEMENS, 1991), resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da energia necessária para o preparo do solo (SOANE, 1990).

Para ocorrer o alongamento radicular é necessário que a pressão radicular seja maior que a impedância mecânica oferecida pelo meio (PASSIOURA, 1991). Assim, a estrutura do solo afeta o alongamento radicular, modificando a habilidade das raízes em extrair água e nutrientes. O caminho natural de crescimento das raízes no solo é pelos macroporos ou espaços vazios que ocorrem entre os agregados. Nos solos em que não ocorre a compactação, esses macroporos quase sempre são interligados entre si (RICHART et al. 2005). Vepraskas (1994) observou que os solos que tinham

maior proporção de agregados com diâmetro superior a 2 mm, e consequentemente maior macroporosidade, apresentavam 30% mais raízes de milho em profundidade. No entanto, a simples redução no alongamento das raízes não pode ser considerada uma diminuição do crescimento radicular, e sim uma alteração na distribuição espacial das raízes, já que em condições de limitação do crescimento em profundidade, ocorre intensa proliferação de eixos laterais finos, que contribuem para o aumento significativo da superfície específica radicular (ZONTA et al., 2006). Assim, o crescimento superficial das raízes em solo compactado, ou seja, confinado nos primeiros centímetros do perfil, dificulta o abastecimento hídrico e nutricional das plantas (MORAES et al., 1995; STEINHARDT, 1983), podendo ocasionar perda de produtividade (ALVARENGA et al., 1997). Portanto, a compactação do solo pode ter seu efeito na produtividade das culturas, principalmente em anos com baixos índices pluviométricos (TORRES; SARAIVA, 1999).

As plantas descompactadoras, ao contrário do que ocorre com o uso de subsoladores, podem proporcionar um rompimento mais uniforme da camada compactada, além de contribuírem para a

melhoria do estado de agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Essas espécies promovem, ainda, a retirada de nutrientes das camadas subsuperficiais, liberando-os gradualmente para as camadas superficiais durante o processo de decomposição (FIORIN, 1999).

Torres e Saraiva (1999) sugerem que o aumento da porosidade total promovida pela ação de implementos mecânicos de mobilização do solo e de rompimento da compactação não garantem o maior crescimento das raízes, pois estes destroem a continuidade dos macroporos. Existem ainda evidências de que o manejo mecânico da compactação do solo são de curta duração (ARAUJO et al., 2004; BUSSCHER et al., 2002), principalmente se não forem tomadas medidas preventivas como a utilização de plantas com sistema radicular abundante e que incrementem o teor de matéria orgânica (MO) para estabilizar os agregados do solo (KOCHHANN et al., 2000).

Benefícios importantes tem sido observados na estruturação do solo em médio e longo prazo com a utilização de plantas de cobertura com alto potencial de fixação de carbono e que possuam sistema radicular volumoso e agressivo (HAKANSSON et al., 1988). Essas espécies apresentam capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criando poros que servirão como rotas por onde as raízes da cultura subsequente possam crescer (EHLERS et al., 1983; SILVA; ROSOLEM, 2001). Além do efeito físico de facilitar o crescimento radicular em profundidade, esses bioporos apresentam microclima favorável ao crescimento das raízes, à medida em que há mais substrato orgânico oriundo de exsudados radiculares ou da decomposição das raízes mortas, que, além de complexar Al, reduzem seu efeito tóxico (SANTOS; CAMARGO, 1999). Segundo Dexter (1991), os "bioporos" derivados de raízes e de minhocas fazem parte de processos naturais de melhoria das características do solo, devendo ser desenvolvidos e explorados, pois têm ótimo potencial para melhorar as características do solo a custos moderados.

Rosolem et al. (2002) comprovaram que o milho e o sorgo de guiné apresentaram maior potencial para serem usados como plantas de cobertura em solos compactados do que *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis* e girassol, por apresentarem maior densidade de comprimento radicular em todos os níveis de compactação testados. No entanto, a *C. spectabilis* e a *C. juncea* tiveram os crescimentos radiculares praticamente insensíveis à compactação do solo. Os autores destacaram as espécies aveia-preta, guandu e

milheto como plantas que favorecem o crescimento radicular da soja abaixo de camadas compactadas de solo.

A utilização de plantas de cobertura do solo se faz oportuna em razão da necessidade da produção de palha em áreas sob plantio direto; entretanto, pouco se conhece sobre o crescimento e desenvolvimento dessas espécies em solos com presença de camadas compactadas.

O objetivo do estudo foi avaliar o desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado.

MATÉRIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade do Oeste Paulista- UNOESTE, em Presidente Prudente, SP, durante o período de 26/02/2010 a 21/04/2010. O solo utilizado foi coletado de 0 a 0,20 m de profundidade (horizonte A) em Argissolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006) de textura média-arenosa (740 g Kg⁻¹ de areia, 80 g Kg⁻¹ de silte e 180 g Kg⁻¹ de argila). O solo foi seco ao ar e passado em peneira com malha de 2 mm. A análise química foi feita segundo RAIJ, et al. (2001), apresentando o seguinte resultado: pH (CaCl₂, 0,01 M) 4,5; 2 mmol_c dm⁻³ de Al; 1,0 mg dm⁻³ de P_{resina}; 5 g dm⁻³ de MO; 17 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 0,8 mmol_c dm⁻³ de K; 3 mmol_c dm⁻³ de Ca; 4 mmol_c dm⁻³ de Mg; 8 mmol_c dm⁻³ de SB; 25 mmol_c dm⁻³ de CTC e 32% de saturação por bases (V).

O pH do solo foi corrigido com calcário dolomítico (CaO: 28%, MgO: 20% e PRNT: 95%) para que a saturação por bases fosse elevada a 70%. Após a calagem, as amostras de solo foram umedecidas à capacidade de campo e acondicionadas em sacos de plástico por 30 dias. Passado esse tempo, foram adicionados 100 mg dm⁻³ de N (uréia), 200 mg dm⁻³ de P (superfosfato simples) e 150 mg dm⁻³ de K (cloreto de potássio).

O delineamento experimental do experimento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x2 (três espécies de plantas e dois níveis de compactação no anel intermediário de vasos de PVC), totalizando vinte e quatro unidades experimentais. As espécies de plantas testadas foram: labe labe (*Dolichos lab lab*), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e brachiaria (*Brachiaria ruziziensis*) e as densidades do solo foram de 1,6 e 1,1 Kg dm⁻³.

Foram montadas colunas com três anéis de PVC sobrepostos, com diâmetro interno de 20,0 cm e altura de 15, 5 e 15 cm, respectivamente, para anel

superior, intermediário e inferior. Os anéis foram unidos com fita adesiva. Para evitar o crescimento de raízes em pontos de menor resistência mecânica à penetração, ou seja, na interface PVC-solo compactado, foram colocadas fitas plásticas adesivas de cerca de 2,0 cm de largura, dobradas da periferia para o centro da superfície superior do anel intermediário, conforme método descrito por Müller et al. (2001), que funcionaram como barreira, evitando o crescimento de raízes junto à parede interna do anel que continha o solo compactado.

Para preparar os anéis da camada compactada, foram separadas porções de solo fertilizado que tiveram o teor de água e a massa determinados. Na seqüência, corrigiu-se a umidade do solo a 135 g Kg^{-1} (correspondente a 80% da máxima capacidade de retenção de água do solo). Após a correção da umidade do solo, o mesmo foi separado em doze porções com 2,8 Kg e outras doze com 1,6 Kg, para em seguida ser acomodado nos anéis que futuramente compuseram a camada intermediária da coluna de PVC. Após a acomodação desse solo no volume delimitado pelo anel intermediário, o solo passou a ter densidade de 1,6 e 1,1 Kg dm^{-3} , com base em solo seco, configurando anéis com solo compactado e não compactado, respectivamente. Para acomodar a maior massa de solo no anel intermediário (2,8 Kg) utilizou-se uma ferramenta de madeira, constituída por um cabo e um disco com diâmetro de 19,5 cm (minimamente inferior ao diâmetro do vaso). A massa de solo previamente calculada para preencher o anel de PVC foi acomodada com leves pancadas realizadas com a ferramenta.

Após a montagem dos vasos, semeou-se as espécies, colocando-se 6 a 7 sementes por vaso. No décimo dia após a germinação foi realizado um desbaste deixando quatro plantas por vaso. A umidade do solo foi controlada diariamente por meio de pesagem dos vasos e reposição da água evapotranspirada até 169 g Kg^{-1} .

Após 54 dias da emergência das plantas a parte aérea foi cortada rente ao solo, seca até atingir massa constante e pesada. Os anéis foram separados com auxílio de uma faca, em anéis superior, intermediário e inferior. Para separação das raízes do solo utilizaram-se jatos de água dirigidos sobre peneiras de 0,5 e 0,25 mm de malha. A parte aérea e as raízes foram secas em estufa para determinação da massa seca. Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância (teste F) e teste de médias (teste Tukey) a 5% de probabilidade.

RESULTADO E DISCUSSÕES

Na Figura 1 são apresentados os resultados de massa seca da parte aérea (MSPA) das espécies vegetais avaliadas e nenhuma das três culturas testadas apresentou redução na produção de fitomassa com a introdução de uma camada intermediária compactada. No entanto, quando se comparara as espécies vegetais dentro de cada nível de compactação, o sorgo produziu, em condição do solo compactado, maior quantidade de massa seca de parte aérea do que as outras duas espécies. Por outro lado, em condição de solo não compactado, não houve diferença estatística entre a produção de MSPA do sorgo e do labe labe, sendo essas superiores à MSPA da braquiária.

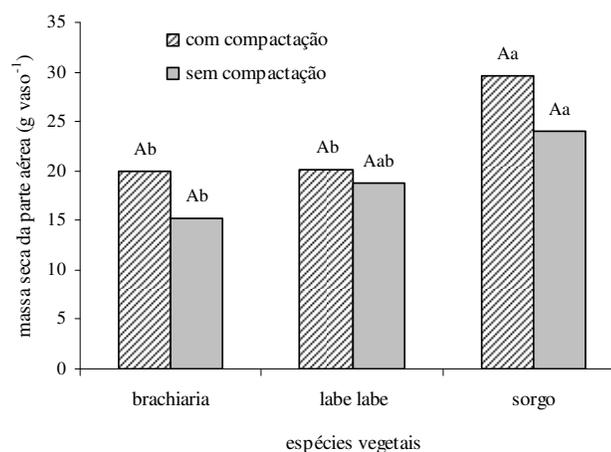


Figura 1. Massa seca da parte aérea das plantas em função da presença ou não de camada intermediária compactada. Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os efeitos da compactação dentro de cada espécie, e as letras minúsculas comparam as espécies dentro de cada nível de compactação.

No entanto, Silva e Rosolem (2001) observaram que o crescimento aéreo do sorgo granífero foi reduzido em mais de 40% ao final de 38 dias de cultivo, em solo com uma resistência mecânica da ordem de 1,22 MPa. Em contrapartida, Rosolem et al. (1994) não verificaram, redução da massa da parte aérea do milho submetido a 2 MPa de impedância mecânica do solo, colhido com 25 dias após a emergência das plântulas. Segundo Gediga (1991), a matéria seca da parte aérea do milho foi incrementada em 10% quando aumentou-se a densidade do solo de 1,45 para 1,70 mg m^{-3} em subsuperfície. Os resultados desses trabalhos são contraditórios, o que reforça os relatos de Bennie (1996) sobre a dificuldade de se estudar o desenvolvimento de plantas em solos compactados.

Os resultados para massa seca de raízes (MSR) nas três camadas do vaso (Figura 2) indicam diferença estatística apenas na camada intermediária (Figura 2B) para a espécie braquiária, que apresentou maior produção na condição de solo compactado. Na literatura encontram-se relatos que corroboram os resultados do presente trabalho. Segundo Materechera et al. (1992), com a compactação do solo as raízes sofrem modificações morfológicas e fisiológicas, que são específicas para cada espécie ou cultivar, para se adaptarem. Os autores sugerem ainda que a resistência mecânica do solo causa aumento de diâmetro das raízes na camada adensada. Já Russel e Goss (1974) afirmam que a compactação do solo provoca proliferação de raízes laterais finas.

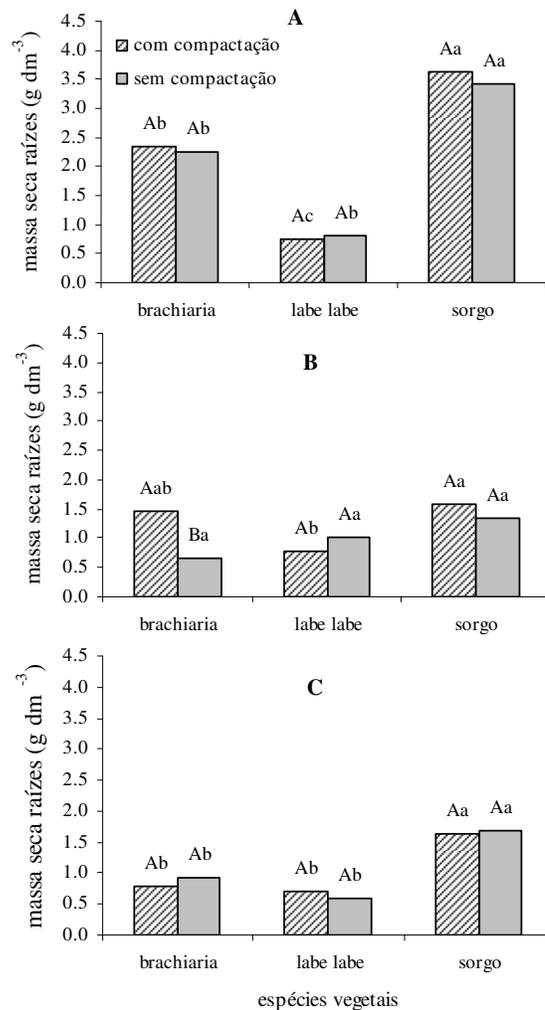


Figura 2. Massa seca das raízes das plantas nas camadas superiores (A), intermediárias (B) e inferiores (C) dos vasos, em função da presença ou não de camada intermediária compactada. Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam os efeitos da compactação dentro de cada espécie, e as letras minúsculas comparam as espécies dentro de cada nível de compactação.

Na comparação entre as espécies vegetais, dentro de cada nível de compactação, verificou-se que o sorgo produziu maior quantidade de raízes, tanto na camada superior (Figura 2A) como inferior do solo (Figura 2C), independente da presença ou não de camada compactada. Já na camada intermediária (Figura 2B), as diferenças entre as espécies foram menores, porém observou-se menor produção de raízes de labe labe em relação ao sorgo, na presença de solo compactado.

Rosolem et al. (2002) observaram efeito da compactação do solo ao avaliarem o crescimento radicular de *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, girassol, milho e sorgo de guiné em vasos com camada subsuperficial compactada. Os autores relatam que as espécies milho e sorgo de guiné apresentaram maior potencial para serem usadas como plantas de cobertura em solos compactados por apresentarem maior densidade de comprimento radicular que as outras espécies, em todos os níveis de compactação testados; constataram, porém, que o crescimento radicular dessas espécies foi afetado com o aumento da resistência do solo à penetração, o que não ocorreu, ou ocorreu suavemente, com as espécies *C. spectabilis* e *C. juncea*, respectivamente, que tiveram valores de densidade de comprimento

radicular quase que constante, mesmo com o aumento da compactação do solo.

Segundo Whiteley e Dexter (1982), em solos onde as raízes finas podem explorar canais radiculares e fissuras existentes, culturas com raízes pivotantes são mais afetadas pela compactação que aquelas com raízes fasciculadas mais finas. Entretanto, raízes com maior diâmetro apresentam maior resistência ao encurvamento em solo compactado, o que, segundo Henderson (1989), é importante em solos deficientes em macroporos, onde as raízes necessitam deformar mais o solo do que explorar fissuras.

A maior colonização de raízes de sorgo na camada inferior do vaso, independente da compactação do solo, explica a grande tolerância dessa espécie à seca, o que a torna uma ótima opção de cultura para ser implantada na safrinha, tanto para produção de grãos, forragem para alimentação animal, como para a produção de palha para dar sustentabilidade para o sistema de plantio direto (PORTUGAL et al., 2003).

Ao comparar a produção de raízes entre as camadas do vaso, dentro de cada espécie estudada, observou-se que a braquiária, assim como o sorgo, apresentou maior concentração de raízes na camada superior do vaso, independente da presença ou não de camada compactada (Figuras 3 A e B).

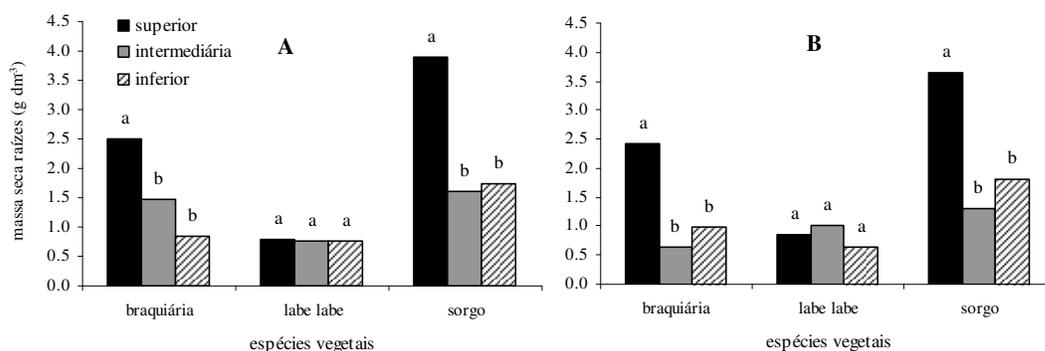


Figura 3. Massa seca das raízes das plantas nas camadas superiores, intermediárias e inferiores dos vasos, em função das espécies estudadas, em condições de presença (A) e ausência (B) de camada intermediária compactada. Letras iguais não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na comparação entre as camadas intermediárias e inferiores do vaso não houve diferença significativa na produção de raízes. Já o labe labe apresentou uniformidade na distribuição radicular, não havendo diferença entre as camadas avaliadas (Figuras 3A e 3B), mesmo na presença de camada intermediária compactada. Rosolem et al.

(2002) obtiveram resultados semelhantes com a leguminosa *Crotalaria juncea*. Segundo Whiteley e Dexter (1984), as raízes com maior diâmetro, mais comum em espécies leguminosas, apresentam maior resistência ao encurvamento em solo compactado, o que, de acordo com Henderson (1989), é importante em solos deficientes em macroporos, onde as raízes

necessitam mais deformar o solo do que explorar fissuras.

CONCLUSÕES

Em geral, compactação do solo não reduziu produção de massa seca da parte aérea e radicular das espécies estudadas.

Na presença de solo compactado, houve aumento no crescimento radicular de *Brachiaria*

ruziziensis na camada intermediária do vaso.

O sorgo e a braquiária foram as espécies com maior colonização de raízes na camada adensada do vaso, constituindo espécies com maior potencial para estruturar solos compactados.

O sorgo destacou-se como a espécie com maior eficiência para colonização de raízes na camada inferior do vaso, independente da presença ou não de camada intermediária compactada.

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate shoot and root development of three cover crop species in compacted soil. The experiment was conducted in pots fitted with rings of PVC pipe with 20 cm of internal diameter. Each pot was constituted by three rings. The extremities ring had 15 cm high and middle ring had 5 cm. At the intermediate ring the bulk density for 1.6 Kg dm⁻³ (compressed) or 1.1 Kg dm⁻³ (uncompressed) was adjusted. The pots were cultivated with the following cover crops: labe labe (*Dolichos lab lab*), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) and *Brachiaria ruziziensis*. The study was carried out in a completely randomized design, with four replicates, in a 3x2 factorial arrangement (three species and two compaction levels). After 54 days of plant emergence, shoot and root dry matter were evaluated in each layer of the pots. The treatments were analyzed by analysis of variance and means compared by Tukey test at 5%. Soil compaction did not reduce shoot and root dry matter of cover crops. There was an increase in root growth of *Brachiaria ruziziensis* in the middle layer of the plot, in compacted soil. Sorghum and pasture were the species with the greatest potential for structuring compacted soil. Sorghum was the species with greater efficiency for root colonization in the lower layer of the plot, regardless of the presence or absence of middle layer compacted.

KEYWORDS: *Dolichos lab lab*. *Sorghum bicolor* L. *Brachiaria ruziziensis*. Root Growth. Soil Compacted.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Produção de matéria seca e absorção de nutrientes por leguminosas, em resposta à compactação do solo. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 44, n. 254 p. 421-431, jun./jul. 1997.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; INOUE, T. T.; COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 3, p. 495-504, maio/jun. 2004.

BENNIE, A. T. P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. **Plants Roots: the hidden half**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 453-470.

BICKI, T. J.; SIEMENS, J. C. Crop response to wheel trapnc soil compaction. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**. St. Joseph, v. 34, n. 3, p. 909-913, jul/aug.1991.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam v. 68, n. 1, p. 49-57, oct. 2002.

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

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam v. 20, n. 1, p. 87-100, apr. 1991.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. & BOHM, W. Penetration resistance and root growth of oats tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam v. 3, n. 3, p. 261-275, jul. 1983.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 2006. 212 p.

FIORIN, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. **Resumos...** Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 39-55.

GEDIGA, K. Influence of subsoil compaction on the uptake of ^{45}Ca from the soil profile and on maize yield. **Soil and Tillage Research, Amsterdam**, v. 19, n. 2-3, p. 351-355, feb. 1991.

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

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SCHAFER, R. L. **Modeling soil mechanical behavior during compaction**. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.) *Mechanics and related processes in structured agricultural soils*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1989. p. 137-152.

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

HENDERSON, C. W. Lupin as a biological plough: evidence for, and effects on wheat growth and yield. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 29, n. 1, p. 99-102, jan. 1989.

KEMPER, B.; DERPSCH, R. **Soil compaction and root growth in Paraná**. In: RUSSEL, R. S. (Ed.). *The soil/root system in relation to Brazilian agriculture*. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p. 81-101.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J E; BERTON, A F. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 19)

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 144, n. 2, p. 297-303, aug. 1992.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, jun/dez. 1995.

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

PASSIOURA, J. B. Soil structure and plant growth. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 29, n. 6, p. 717-728, dec. 1991.

PORTUGAL, A. F, ROCHA, V. S., SILVA, A. G. da, PINTO, G. H. F.; PINA FILHO, O. C. Fenologia de cultivares de sorgo no período de verão e rebrota na safrinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 289, p. 325-336, mai/jun. 2003.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação de solo: Causas e efeitos. **Semina Ciência Agrária**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, jul/set. 2005.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam v. 65, n. 1, p. 109-115, apr. 2002.

RUSSELL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, n. 1. p. 305-318, jan, 1974.

SANTOS, G; CAMARGO, F. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 69-90.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 253-260, mar/abr. 2001.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 16, n. 1-2, p. 179-201. apr. 1990.

STEINHARDT, G. C. **Compactação do solo: um problema oculto**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 3p. (Informações Agronômicas, v. 21)

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1999. 58p. (Circular técnica, 23)

VEPRASKAS, M. J. **Plant response mechanisms to soil compaction**. In: WILKINSON, R. (Ed.). Plant environment interactions. New York : M. Dekker, 1994. p. 263-287.

TENNANT, D. A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1.001, jan/dez. 1975.

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and nontilled soil. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v. 2, n. 4, p. 379-393, dec.1982.

WHITELEY, G. M.; DEXTER, A. R. The behaviour of roots encountering cracks in soil. I. Experimental methods and results. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 77, n. 2-3, p. 141-149, jun.1984.

ZONTA, E.; BRASIL, F. da; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. da. **O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico**. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 7-52.