

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

HETEROGENEIDADE DA COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO SOB POMAR DE LARANJA⁽¹⁾

C. L. R. LIMA⁽²⁾, A. P. SILVA⁽³⁾, S. IMHOFF⁽⁴⁾,
H. V. LIMA⁽⁵⁾ & T. P. LEÃO⁽⁵⁾

RESUMO

A heterogeneidade na compactação do solo, provocada por diferentes intensidades de tráfego, pode limitar a produção em áreas citrícolas. O objetivo deste trabalho foi quantificar o índice de compressão (IC) e a pressão de preconsolidação (σ_p) nas posições de amostragem: linha de plantio, entre rodado, rodado e projeção da copa, para avaliar a heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob pomar de laranja. A amostragem foi realizada em 40 pontos, distribuídos aleatoriamente (10 em cada posição). Após saturadas com água e equilibradas no potencial (ψ): -10 kPa, as amostras foram pesadas e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial com a aplicação sucessiva e contínua de pressões de 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1.000, 1.300 e 1.600 kPa. Os resultados indicaram que a pressão de preconsolidação mostrou-se mais sensível do que o índice de compressão na avaliação da heterogeneidade da compactação do solo em áreas citrícolas. A compactação do solo aumentou no sentido das posições de amostragem: linha de plantio, entre rodado, rodado das máquinas e implementos agrícolas e projeção da copa das plantas cítricas.

Termos de indexação: índice de compressão, pressão de preconsolidação, posição de amostragem.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em julho de 2003 e aprovado em abril de 2004.

⁽²⁾ Doutoranda em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail:clrlima@esalq.usp.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. E-mail:apisilva@esalq.usp.br

⁽⁴⁾ Professora da Universidad Nacional Del Litoral, Avenida P. Kreder 2805, CEP 3080, Esperanza, Argentina. E-mail: simhoff@fca.unl.edu.ar

⁽⁵⁾ Doutorando(a) do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. E-mail:hvlima@esalq.usp.br; tpleao@esalq.usp.br

SUMMARY: *COMPACTION HETEROGENEITY OF A HAPLUSTOX UNDER AN ORANGE ORCHARD*

The heterogeneity in soil compaction induced by different traffic intensities can reduce the productivity of citrus trees. The objective of this research was to quantify the compression index (CI) and the preconsolidation pressure (σ_p) in different sampling positions (row, between wheel track, wheel track, and canopy projection) to evaluate the compaction heterogeneity in a Haplustox under an orange orchard. The sampling was carried out at forty randomly distributed sites (ten samples in each position). The samples were water saturated and equilibrated at a water potential (ψ) of -10 kPa. Thereafter, they were weighed and submitted to a uniaxial compression test under the following pressures: 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1,000, 1,300, and 1,600 kPa. The results indicated that the σ_p was the most sensitive indicator to evaluate the compaction heterogeneity induced by the traffic of agricultural machinery in areas cultivated with citrus trees. Soil compaction increased in the following order: row, between wheel tracks, at the wheel track, and canopy projection position.

Index terms: compression index, preconsolidation pressure, sampling position.

INTRODUÇÃO

O Brasil com mais de um milhão de hectares de plantas cítricas tornou-se, na década de 80, o maior produtor mundial de laranjas. O estado de São Paulo é responsável por 70 % da produção nacional de laranjas e por 98 % da produção de suco concentrado (ABECitrus, 2004).

A produtividade em áreas citrícolas é dependente da interação entre os fatores que constituem o ecossistema do pomar, como o clima e o solo, que determinam a produção e a qualidade dos frutos (Moreno & Gascon, 1994). A compactação do solo é um dos fatores limitantes na produção de citrus (Oliveira & Merwin, 2001) e é condicionada não só por fatores externos, especificamente, pelo tipo, intensidade e frequência da pressão aplicada por máquinas agrícolas (Soane et al., 1981; Lerink, 1990; Lebert & Horn, 1991), mas também por fatores internos, tais como: textura, estrutura, ciclos de secagem e umedecimento e densidade do solo (Culley & Larson, 1987; Horn, 1988).

A intensidade do tráfego de máquinas condiciona a resposta do solo à compressão, ou seja, determina o grau de alteração das propriedades físicas do solo (Soane et al., 1982; Culley & Larson, 1987; Gysi, 2001). Em um ano agrícola, a frequência comum de quinze passadas de trator para a realização de operações, como adubações e pulverizações, pode intensificar ainda mais a degradação da estrutura do solo em áreas citrícolas (Stolf, 1987; Tersì & Rosa, 1995).

Os efeitos dos sistemas de preparo sobre as propriedades físicas do solo podem ser manifestados diferentemente em relação à linha de cultivo. Sanches et al. (1999), avaliando o impacto do cultivo de citrus em propriedades físicas, observaram

maiores valores de densidade do solo na entrelinha. A carência de pesquisas que abordem este tema revela a necessidade de estudos que avaliem a heterogeneidade da compactação ocasionada por diferentes intensidades de tráfego de máquinas em áreas citrícolas.

A quantificação da compactação nestas áreas pode ser incrementada a partir da utilização de medidas de compressão do solo, obtidas por meio de ensaios de compressão uniaxial, tais como: o índice de compressão (IC) e a pressão de preconsolidação (σ_p). Essas medidas, além de auxiliarem na análise do processo de compactação de solos agrícolas (Bailey et al., 1986; Gupta & Allmaras, 1987; Fritton, 2001), têm sido utilizadas na adequação de máquinas que exerçam menores pressões sobre o solo (Pytka & Dabrowski, 2001).

Este trabalho testou a hipótese de que medidas de compressão do solo podem ser utilizadas para avaliar a heterogeneidade da compactação em áreas citrícolas. Nesse sentido, objetivou-se determinar IC e σ_p nas posições de amostragem: linha de plantio, entre rodado, rodado e projeção da copa para avaliar a heterogeneidade da compactação em um pomar de laranja.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em um pomar de laranja pêra (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) sobre o porta-enxerto limão "cravo" (*Citrus limonia* (L.) Osbeck), instalado no mês de março de 1991, pertencente ao Departamento de Produção Vegetal (Setor de Horticultura) da ESALQ/USP, localizado na cidade de Piracicaba, SP. A área total do pomar é de 24.128 m², com espaçamento de 8 x 4 m. O solo

é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999) de textura franco-arenosa (80 g kg⁻¹ de silte, 750 g kg⁻¹ de areia e 170 g kg⁻¹ de argila).

O controle de ervas daninhas na linha do cultivo é feito três vezes ao ano com a aplicação de herbicida e roçada nas entrelinhas com roçadeira Baldan RP 1700, com peso aproximado de 358 kg. O controle de ácaros (*Phyllocoptura oleivora* e *Brevipalpus phoenicis*), moscas das frutas (*Ceratitis capitata* e *Anastrepha fraterculus*) e bicho furão (*Ecdytolopha aurantiana*) é feito duas vezes ao ano, utilizando um pulverizador de aproximadamente 825 kg e capacidade para 2.000 L. Em todas as operações agrícolas, foi utilizado um trator MF 275 (4 x 2) com um peso aproximado de 3.900 kg e pneus dianteiros do tipo 7.5-16F2 cuja pressão de inflação de ar dos pneus é de 240 kPa e traseiros do tipo 18.4-30R1, que utilizam uma pressão de 96,5 kPa.

A amostragem foi realizada no mês de agosto do ano de 2001, distribuindo-se aleatoriamente dez pontos na linha de cultivo (L), dez pontos na projeção da copa (PC), dez pontos no rodado (R) e dez pontos no entre rodado (ER). A amostragem nas posições PC, R e ER foi feita a 1,5, 3,5 e 4,0 m a partir da L de cultivo, respectivamente. Em cada ponto, foi retirada, na camada superficial (2,5-5,0 cm), uma amostra indeformada com anel volumétrico de 7 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, totalizando 40 amostras.

As amostras foram saturadas com água por 48 horas e submetidas ao potencial (ψ): -10 kPa em câmaras de Richards (Klute, 1986). Após o equilíbrio, cada amostra foi pesada e submetida ao ensaio de compressão uniaxial. Este ensaio consistiu na aplicação sucessiva e contínua de pressões crescentes e preestabelecidas de 25, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1.000, 1.300 e 1.600 kPa, por cinco minutos, período suficiente para atingir 99 % da deformação máxima (Silva et al., 2002). O deslocamento vertical a cada pressão aplicada foi registrado por meio de um sensor ligado a um sistema de aquisição de dados automatizado MCT 2000 - Satron (MIRAE Engineering, Inc., Buscan Korea). Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105 °C, por 24 h e, a partir desses valores, foi determinada para cada amostra a densidade do solo, conforme Blake & Hartge (1986).

O ensaio permitiu a obtenção das curvas de compressão uniaxial do solo, que relaciona o logaritmo da pressão aplicada (eixo x) versus a densidade do solo (eixo y). A partir destas curvas, foram obtidos os valores de índice de compressão (IC) e de pressão de preconsolidação (σ_p), utilizando um programa desenvolvido dentro do software Mathcad (Mathsoft, 2000). Na primeira etapa, o programa calcula o ponto de mínima curvatura da curva de compressão uniaxial. Para isso, é calculada a segunda derivada de cada ponto da curva, sendo o ponto de mínima curvatura aquele em que a segunda derivada atinge

o valor mínimo. Em etapas sucessivas, a quantificação da pressão de preconsolidação e do índice de compressão é feita, utilizando-se o método padrão gráfico proposto por Casagrande (1936). Este método consiste em traçar sobre o ponto de mínima curvatura uma reta paralela ao eixo das abscissas e outra reta tangente à curva de compressão do solo. A partir do ângulo formado entre essas duas retas, é traçada a bissetriz. No ponto de interseção da bissetriz com o prolongamento da reta de compressão virgem, determina-se a pressão de preconsolidação (σ_p). O índice de compressão (IC) é determinado pelo coeficiente angular da reta de compressão virgem.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias nas diferentes posições de amostragem comparadas por meio do teste t de student a 5 % (SAS, 1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de compressão uniaxial, para cada posição de amostragem (média de dez repetições), no potencial (ψ): -10 kPa, são apresentadas na figura 1. Houve menor incremento da densidade do solo com a aplicação das pressões nas posições ER (1,54 a 1,81 Mg m⁻³), R (1,58 a 1,83 Mg m⁻³) e PC (1,58 a 1,85 Mg m⁻³) em relação a L (1,41 a 1,73 Mg m⁻³). Este comportamento pode estar associado ao maior estado de compactação inicial observado nas posições ER, R e PC, proporcionado pelo tráfego de máquinas no pomar para executar as operações agrícolas de adubação, pulverização e controle de plantas daninhas, o que corrobora os resultados descritos por Géric et al. (1987).

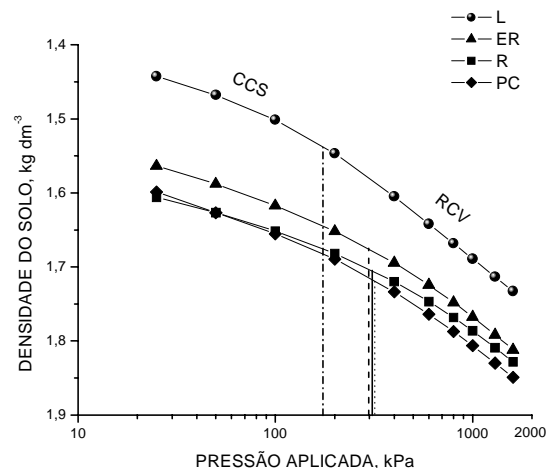


Figura 1. Curvas de compressão uniaxial nas posições: linha (L), entre rodado (ER), rodado (R) e projeção da copa (PC), no potencial (ψ): -10 kPa. As linhas verticais separam as duas regiões na curva de compressão uniaxial (CCS = curva de compressão secundária e RCV = reta de compressão virgem) nas posições L, ER, R e PC, respectivamente.

Nas curvas de compressão uniaxial, são identificadas duas regiões clássicas: (a) uma região em que ocorrem deformações pequenas, elásticas e recuperáveis, chamada de curva de compressão secundária (CCS), e (b) outra região, representada pela porção linear, de deformações plásticas e não recuperáveis, chamada de reta de compressão virgem (RCV), onde ocorre a compactação adicional do solo.

As duas regiões estão mais evidentes na posição L. O solo nesta posição, provavelmente, por estar menos compactado, apresentou maior deformação do que nas demais posições de amostragem (Figura 1).

O aumento do estado inicial de compactação, $PC > R > ER > L$, favoreceu o deslocamento das linhas que separam a CCS da RCV para a direita, indicando que a compactação adicional ocorrerá a valores superiores de pressões aplicadas nas posições PC, R e ER em relação a L. O comportamento do solo à compressão nas posições PC, R e ER foi semelhante, como indica a proximidade das linhas que separam a CCS e a RCV. Esta semelhança pode estar relacionada com uma condição similar de compactação a que foi submetido o solo nestas posições (Figura 1).

A partir das duas regiões identificadas na curva de compressão (CCS e RCV), foram calculados os índices de compressão (IC) e pressão de preconsolidação (σ_p). O IC, sendo o coeficiente angular da RCV, representa a susceptibilidade de solo à compactação, enquanto a σ_p , sendo o limite entre as regiões onde ocorrem as deformações elásticas (CCS) e plásticas (RCV) do solo, indica a capacidade de suporte do solo. Os momentos estatísticos para estes indicadores estão apresentados no quadro 1.

O maior coeficiente de variação da σ_p (34,54 %) em relação ao IC (10,34 %) indicou que a σ_p esteve associada à heterogeneidade do estado físico do solo nas diferentes posições de amostragem e que o IC esteve associado às propriedades intrínsecas do solo.

O valor médio do IC (0,19) foi similar ao determinado por Imhoff et al. (2004). Os autores estudaram uma toposequência em Latossolos com ampla variação no teor de argila e verificaram que o IC aumentou com o teor de argila até o valor aproximado de 30 %, permanecendo constante a partir deste valor. Esse fato pode explicar a razão

pela qual Kondo & Dias Júnior (1999) e Silva et al. (2000) apresentaram valores de IC superiores aos encontrados neste estudo. Os Latossolos estudados por esses autores apresentaram teores de argila mais elevados.

O valor reduzido do IC indica que o solo estudado apresenta possivelmente uma reduzida susceptibilidade à compactação. A textura determina o tipo, a forma e a distribuição do tamanho das partículas do solo e, como consequência, o número de contatos entre elas, controlando, assim, a resistência do solo à deformação (Harte, 2000). Solos com textura grossa são menos susceptíveis à compactação do que aqueles com textura fina (Horn, 1988; Horn & Lebert, 1994). Solos com textura grossa apresentam maior atrito entre as partículas, o que dificulta a movimentação das partículas sólidas para posições de maior proximidade (deformação).

A análise de variância revelou que diferenças na intensidade do tráfego de máquinas agrícolas não exerceram influência significativa sobre o IC ($F = 2,39$; $P < 0,0850$), confirmando o fato de que o IC é um indicador principalmente relacionado com as propriedades intrínsecas do solo, como foi assinalado por Larson et al. (1980) e Horn (1988).

Por outro lado, a σ_p ($F = 7,69$; $P < 0,0004$) relacionou-se significativamente com a posição de amostragem, refletindo as condições físicas do solo, ocasionados pelas diferenças na intensidade do tráfego de máquinas agrícolas. Considerando que somente este indicador apresentou-se significativamente relacionado com o local de amostragem, procedeu-se a uma análise de comparação de médias, utilizando o teste t de student a 5 %, para verificar diferenças significativas da σ_p nas diferentes posições de amostragem.

Não houve diferenças significativas, a 5 %, entre os valores médios de σ_p nas posições PC (316 kPa), R (309 kPa) e ER (298 kPa). Entretanto, esses valores foram significativamente maiores que o valor médio de σ_p na L (174 kPa).

Os maiores valores da σ_p nas posições PC, R e ER indicaram maior capacidade de suporte de carga ao tráfego de máquinas agrícolas, até que o processo de compactação adicional ocorra. O menor valor da σ_p na L evidenciou que o solo suportou menores pressões no passado, justificado pela ausência de operações mecanizadas nestas áreas.

Quadro 1. Momentos estatísticos dos parâmetros da curva de compressão uniaxial

Variável	n	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
IC	40	0,19	0,02	0,14	0,24	10,34
σ_p	40	274	94,72	75,00	547,00	34,54

IC = índice de compressão; σ_p = pressão de preconsolidação (kPa).

Considerando que o valor da σ_p é resultado dos níveis de pressões aplicadas no passado e de processos de secagem e umedecimento do solo (Rajaram & Erbach, 1998; Silva et al., 2000), os maiores valores da σ_p obtidos nas posições PC, R e ER podem ser atribuídos à pressão aplicada pelo trator juntamente com os equipamentos utilizados nas operações agrícolas no pomar. Estes equipamentos normalmente apresentam pneus mais estreitos do que os utilizados no trator, podendo exercer elevados valores de pressão sob o solo. Febo & Pessina (2002) afirmaram que a pressão exercida por equipamentos agrícolas são normalmente superiores à pressão exercida pelo trator e que tanques pulverizadores podem exercer pressões médias de aproximadamente 300 kPa, valor semelhante ao obtido neste estudo.

A σ_p foi mais sensível que o IC para discriminar mudanças relacionadas com a heterogeneidade espacial da compactação do solo, visto que somente esta característica foi significativamente influenciada por diferenças na intensidade do tráfego de máquinas agrícolas no pomar.

A figura 2 ilustra na entrelinha de cultivo um incremento da σ_p de 70 a 80 % em relação a L. As posições de amostragem localizadas a partir de 1,5 m (PC, R, ER) apresentaram valores superiores de σ_p e condições homogêneas de compactação, indicando a ocorrência de tráfego de máquinas agrícolas em toda a entrelinha e, por sua vez, possivelmente, condições menos favoráveis para o crescimento radicular.

Trabalhos têm demonstrado que limitações ao crescimento radicular ocorrem a valores de resistência do solo à penetração (RP) superiores a 2.000 kPa (Taylor et al., 1966). Por outro lado, pesquisas têm demonstrado que existe uma relação entre a RP e a σ_p , sendo $RP = 10 \sigma_p$ (Canarache et

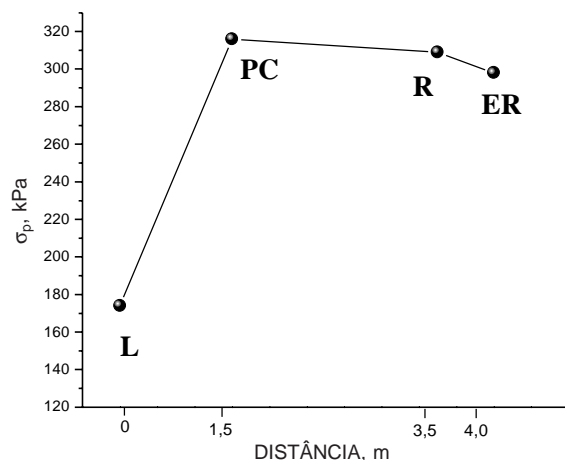


Figura 2. Valores médios da σ_p nas posições: L (linha), PC (projeção da copa), R (rodado) e ER (entre rodado), no potencial (ψ): -10 kPa, distanciadas a partir da L de 1,5 m (PC), 3,5 m (R) e 4,0 m (ER) na área de citrus.

al., 2000; Mosaddeghi et al., 2003). Considerando esta relação e os resultados de σ_p , espera-se obter valores de RP próximos a 3.000 kPa na entrelinha de cultivo. Decorrente disto, acredita-se que, a partir de 1,5 m em relação a L, na entrelinha de cultivo, a condição física do solo apresente-se menos adequada para o crescimento das raízes das árvores no pomar.

Para evitar a degradação estrutural do solo, cuidados especiais devem ser implementados em pomares. Nesse sentido, a adoção de linhas permanentes de tráfego de máquinas agrícolas pode contribuir para a manutenção da qualidade física do solo em áreas citrícolas.

CONCLUSÕES

1. A pressão de pré-consolidação mostrou-se mais sensível do que o índice de compressão na avaliação da heterogeneidade da compactação do solo em áreas citrícolas.
2. A compactação do solo aumentou no sentido das posições de amostragem: linha de plantio, entre rodado, rodado das máquinas e implementos agrícolas e projeção da copa das plantas cítricas.

LITERATURA CITADA

- ABECITRUS. Associação Brasileira dos Exportadores de Cítricos. 2004. <http://www.abecitrus.com.br/safrano.html>
- BAILEY, A.C.; JOHNSON, C.E. & SCHAFER, R.L. A model for agricultural soil compaction. *J. Agric. Eng. Res.*, 33:257-262, 1986.
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p.363-375.
- CANARACHE, A.; HORN, R. & COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil Till. Res.*, 56:185-196, 2000.
- CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: *CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING*, Cambridge, 1936. *Proceedings*, Cambridge, ICSMFE, 1936. p.60-64.
- CULLEY, J.L.B. & LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:562-567, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, Produção de Informação, 1999. 412p.
- FEBO, P. & PESSINA, D. Ground pressures exerted by agricultural machines. In: PAGLIAI, M. & JONES, R., eds. *Sustainable land management environmental protection*. *Adv. Geocol.*, 35:339-350, 2002.

- FRITTON, D.D. An improved empirical equation for uniaxial soil compression for a wide range of applied stresses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:678-684, 2001.
- GÉRIK, T.J.; MORRISON Jr., J.E. & CHICHESTER, F.W. Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agron. J.*, 79:434-438, 1987.
- GYSI, M. Compaction of an Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: Field data and a critical state soil mechanics model approach. *Soil Till. Res.*, 61:133-142, 2001.
- GUPTA, S.C. & ALLMARAS, R.R. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Sci.*, 6:5-10, 1987.
- HARTE, K.K. The effect of soil deformation on physical soil properties: a discourse on the common background. In: HORN, R.; AKKER van den, J.J.H. & ARVIDSSON, J., eds. *Subsoil compaction: distribution, processes and consequences*. *Adv. GeoeEcol.*, 32:22-31, 2000.
- HORN, R. Compressibility of arable land. *Cat. Supplem.*, 11:53-71, 1988.
- HORN, R. & LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. *Soil compaction in crop production*. Amsterdam, Elsevier, 1994. p.45-69.
- IMHOFF, S.; SILVA, A.P. & FALLOW, D. Susceptibility to compaction, load support capacity and soil compressibility of Hapludox. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:17-24, 2004.
- KONDO, M.K. & DIAS JÚNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:211-218, 1999.
- KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.635-660.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:450-457, 1980.
- LEBERT, M. & HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.*, 19:274-286, 1991.
- LERINK, P. Prediction of the immediate effects of traffic on field soil qualities. *Soil Till. Res.*, 16:153-166, 1990.
- MATHSOFT. *Mathcad professional reference manual*. Cambridge, MA: Mathsoft, 2000. 180p.
- MOSADDEGHI, M.R.; HEMMAT, A.; HAJABBASI, M.A. & ALEXANDROU, A. Pre-compression stress and its relation with the physical and mechanical properties of a structurally unstable soil in central Iran. *Soil Till. Res.*, 70:53-64, 2003.
- MORENO, J.H.N. & GASCON, B.V. Effect of soil condition on orange trees. *Comm. Soil Sci. Plant An.*, 25:1747-1753, 1994.
- OLIVEIRA, M.T. & MERWIN, I.A. Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant Soil*, 234:233-237, 2001.
- PYTKA, J. & DABROWSKI, J. Determination of stress-strain relationship for sandy soil in field experiments. *J. Terram.*, 38:185-200, 2001.
- RAJARAM G. & ERBACH, D.C. Drying stress effect on mechanical behavior of a clay loam soil. *Soil Till. Res.*, 49:147-158, 1998.
- SANCHES, A.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. & RIGOLIM, A.T. Impacto do cultivo de citrus em propriedades químicas, densidade do solo e atividade microbiana de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:91-99, 1999.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:239-249, 2000.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SOARES, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I - Estado inicial de compactação. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1-8, 2002.
- SOANE, B.D.; BLACKWELL, P.S. & DICKSON, J.W. Compaction by agricultural vehicles: A review. II - Compaction under tyres and other running gear. *Soil Till. Res.*, 1:373-400, 1981.
- SOANE, B.D.; DICKSON, J.W. & CAMPBELL, D.J. Compaction by agricultural vehicles: A review. III - Incidence and control of compaction in crop production. *Soil Till. Res.*, 2:3-36, 1982.
- SAS INSTITUTE. *Statistical Analysis System Institute. SAS/STAT procedure guide for personal computers*. 5.ed. Cary, SAS Institute, 1991. 1104p.
- STOLF, R. A compactação do solo e perspectivas da subsolagem em citros. *Laranja*, 2:283-308, 1987.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JÚNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soi Sci.*, 102:18-22, 1966.
- TERSI, F.E.A. & ROSA, S.M. A subsolagem no manejo de solo para os pomares de citros. *Laranja*, 16:289-298, 1995.