

GRAU DE COMPACTAÇÃO E RETENÇÃO DE ÁGUA DE LATOSSOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO⁽¹⁾

M. S. DIAS JUNIOR⁽²⁾ & W. T. ESTANISLAU⁽³⁾

RESUMO

Os estudos do processo de compactação do solo têm envolvido, mais recentemente, alguns ensaios freqüentemente usados na área de mecânica dos solos. Procurando melhor entendimento da aplicação do ensaio de Proctor normal para fins agrícolas, este estudo teve como objetivo avaliar a curva de compactação do solo, obtida por meio deste ensaio, e o efeito do grau de compactação na curva característica de água do solo. No desenvolvimento deste estudo, foram utilizados um Latossolo Roxo (LR), um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e um Latossolo Vermelho-Escuro (LE), sob três tipos de manejo: cultura anual, pastagem e mata natural, situados no município de Lavras (MG). A umidade ótima de compactação média do LR ($0,31 \text{ kg kg}^{-1}$) foi maior do que a do LV ($0,22 \text{ kg kg}^{-1}$) e a do LE ($0,25 \text{ kg kg}^{-1}$) para as três condições de manejo. Para o LV e para o LE, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: cultura anual, pastagem e mata natural (para o LV, 1,92; 1,94 e 1,95 kg dm^{-3} , respectivamente, e para o LE 1,89; 1,91 e 1,96 kg dm^{-3} , respectivamente); já para o LR, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: mata natural, cultura anual e pastagem (1,83; 1,92 e 1,93 kg dm^{-3} , respectivamente). As curvas características de água do solo foram deslocadas em virtude da variação do grau de compactação. Tais curvas, obtidas para os graus de compactação situados no ramo úmido e no ramo seco, apresentaram tendência de se deslocarem para a direita e para a esquerda, respectivamente, em relação às curvas características de água do solo para o grau de compactação 100%. Para sucções menores do que 10 kPa, 93% das curvas características de água do solo ficaram à direita da curva característica de água para o grau de compactação igual a 100%. Tanto no ramo seco como no ramo úmido, com o aumento do grau de compactação, percebeu-se a diminuição da água disponível às plantas nos três tipos de solo e para todas as condições de manejo.

Termos de indexação: Proctor normal, curva característica de água, Latossolo.

⁽¹⁾ Projeto financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em março de 1998 e aprovado em setembro de 1998.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ Bolsista de Iniciação Científica CNPq.

SUMMARY: *DEGREE OF COMPACTION AND WATER RETENTION OF LATOSOL SUBMITTED TO DIFFERENT SOIL MANAGEMENT SYSTEMS*

Soil compaction process studies have more recently involved some soil tests frequently used in soil mechanics. Seeking a better understanding of the application of the Proctor normal test for agricultural purposes, this study aimed to evaluate the soil compaction curve, obtained through this test, and the effect of the degree of compaction on the soil moisture characteristic curves. For the development of this study, a Dusky Red-Latosol (LR), a Red Yellow-Latosol (LV) and a Dark Red-Latosol (LE) submitted to annual crop, pasture and natural forest were used. The optimum moisture content average for LR (0.31 kg kg^{-1}) was greater than that for LV (0.22 kg kg^{-1}) and LE (0.25 kg kg^{-1}) for all soil management systems. For the LV and LE, the maximum dry bulk density increased in the following order: annual crop, pasture and natural forest (for LV, $1.92; 1.94; e 1.95 \text{ kg dm}^{-3}$, respectively and for LE $1.89; 1.91; e 1.96 \text{ kg dm}^{-3}$ respectively); while for the LR the order was forest, annual crop, pasture ($1.83; 1.92$ and 1.93 kg dm^{-3} , respectively). The soil moisture characteristic curves were shifted due to the variation of the degree of compaction. The soil moisture characteristic curves obtained for the degree of compaction in the humid branch and the dry branch of the compaction curve tended to move to the right and to the left, respectively, in relation to the soil moisture characteristic curve for the degree of compaction of 100%. For suctions smaller than 10 kPa , 93% of the soil moisture characteristic curves were located to the right of the soil moisture characteristic curve for the degree of 100% compaction. Both in the dry and humid branches, as the degree of compaction increased, the available water content tended to decrease in the three soil types and for all the soil management conditions.

Index terms: Proctor normal, soil moisture characteristic curve, Latosols.

INTRODUÇÃO

As operações motomecanizadas realizadas sem o controle da umidade do solo têm renovado a preocupação com o processo de compactação. Essa preocupação é devida, principalmente, ao aumento da área compactada (Pedrotti & Dias Junior, 1996), o que pode limitar a disponibilidade de água para as plantas, acarretando redução da produtividade. Portanto, o manejo inadequado do solo pode alterar a curva característica de água do solo em decorrência das alterações que podem ser causadas à sua estrutura (O'Sullivan & Ball, 1993).

Nas culturas anuais, a compactação do solo é devida à intensiva mobilização do solo durante as operações de preparo (Silva et al., 1986). Já nas pastagens, o pisoteio excessivo do gado tem sido a causa da compactação na camada superficial (Kondo, 1998) e, nas áreas florestadas, as operações de corte em condições inadequadas de umidade têm sido responsáveis pelo processo de compactação do solo. Indiferentemente do tipo de uso do solo, o processo de compactação tem alterado suas propriedades físicas, tais como: densidade do solo (Grohmann & Queiroz Neto, 1966; Silva et al., 1986; Lebert & Horn, 1991; Figueiredo, 1998), porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (Hillel, 1982; Smucker &

Erickson, 1989), infiltração, capacidade de armazenamento de água, aeração (Hillel, 1982; Silva et al., 1986), pressão de preconsoidação e índice de compressão (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996; Kondo, 1998). Por outro lado, os solos, por apresentarem diferentes características e propriedades, mostram comportamentos distintos, quando submetidos à compactação (Silva et al., 1986; Pacheco & Dias Junior, 1990). Assim, é de grande importância, principalmente para aspectos relacionados com manejo, o estudo da compactação e de seus efeitos nas relações hídricas do solo.

Um dos ensaios mais usados para estudar a compactação do solo em laboratório tem sido o ensaio de Proctor normal. Por meio deste ensaio, Raghavan et al. (1990) observaram que a umidade ótima de compactação indica o momento em que o trator começa a derrapar, o que contribui significativamente para o aumento da compactação do solo. Ohu et al. (1987) observaram que os solos com classe textural areia franca são mais susceptíveis à compactação do que os solos franco-arenosos, pelo fato de o teor de areia do primeiro ser maior. Além disso, Pacheco & Dias Junior (1990) observaram que a umidade ótima de compactação diminuiu e a densidade do solo máxima correspondente aumentou, à medida que se adicionou areia em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura

média, em um de textura argilosa e em um de textura muito argilosa. Assim sendo, de acordo com Silva et al. (1986), Ohu et al. (1987) e Raghavan et al. (1990), espera-se que a susceptibilidade do solo à compactação cresça à medida que o teor de areia dos solos aumente. Por essa razão, para nossas condições, são necessários estudos adicionais que visem obter melhor entendimento de como o grau de compactação do solo afeta a curva característica de água do solo e, conseqüentemente, a dinâmica de água do solo.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar a curva de compactação do solo e o efeito do grau de compactação na curva característica de água do solo, em três solos da região de Lavras (MG), submetidos a diferentes sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizados um Latossolo Roxo (LR), um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e um Latossolo Vermelho-Escuro (LE), submetidos a três tipos de manejo: cultura anual, pastagem e mata natural. Esses solos foram escolhidos pela sua grande ocorrência (Silva et al., 1993) e importância no setor agropecuário da região de Lavras (MG).

Em cada solo e sistema de manejo, foram coletadas, aleatoriamente, amostras deformadas nas profundidades de 0-0,30 m, por ser esta a zona de maior concentração de raízes. No laboratório, essas amostras foram secas à sombra e passadas na peneira de 4,76 mm.

Para a caracterização física do solo, foram realizadas as seguintes análises: análise granulométrica (Bouyoucos, 1927), densidade do solo (Blake & Hartge, 1986a), densidade de partículas (Blake & Hartge, 1986b), ensaio de compactação proctor normal (Stancati et al., 1981) e matéria orgânica (Raij & Quaggio, 1983).

Para obter a curva de compactação, para cada solo e sistema de manejo, avaliaram-se cinco corpos de prova constituídos cada um de três camadas, as quais receberam 25 golpes do martelo usado no ensaio de Proctor normal, correspondendo a uma energia de compactação de 6 kgf cm cm⁻³ (Stancati et al., 1981). Cada corpo de prova foi compactado com cinco umidades distintas, para obter duas umidades no ramo seco, uma próxima ao ponto de máximo e duas no ramo úmido da curva de compactação. Para cada umidade, terminado o ensaio de compactação, foi coletada, na parte central do corpo de prova, uma amostra para a determinação da curva característica de água do solo por secagem (Klute, 1986). As sucções aplicadas aos corpos de provas foram: 1.500, 500, 100, 33, 10, 8, 6, 4 e 2 kPa.

As curvas de compactação foram obtidas por meio de uma regressão do tipo $D_s = a U^2 + b U + C$, ajustada aos valores das umidades plotadas no eixo dos x e aos valores da densidade do solo plotados em y.

O grau de compactação (GC) foi calculado pela expressão $GC = (D_s/D_{s_{máx}}) \cdot 100$ (Holtz & Kovacs, 1981), em que D_s corresponde à densidade do solo da amostra coletada na parte central do corpo de prova e $D_{s_{máx}}$ a densidade do solo no ponto máximo da curva ajustada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físicas de caracterização dos solos estudados são apresentados no quadro 1.

Em geral, o Latossolo Roxo apresentou os maiores teores de argila e matéria orgânica e os menores de areia, enquanto o Latossolo Vermelho-Amarelo apresentou os maiores teores de areia e os menores de argila. Já o Latossolo Vermelho-Escuro mostrou um comportamento intermediário, em relação aos outros dois solos. De acordo com Howard et al. (1981), Ohu et al. (1986), Silva et al. (1986), Raghavan et al. (1990) e Ekwue & Stone (1997), a posição do ponto máximo da curva de compactação é influenciada pelo teor de argila, matéria orgânica e areia, pois, o teor de argila e matéria orgânica influenciam a posição da curva de compactação ao longo do eixo da umidade, enquanto o teor de areia influi na amplitude da curva de compactação.

Analisando as curvas de compactação, as quais apresentaram coeficiente de determinação variando de 0,913 a 0,999 (Figura 1), verificou-se que, para os três solos e todas as condições de manejo estudadas, à medida que a densidade do solo aumentou até atingir um máximo (densidade do solo máxima), a umidade gravimétrica aumentou. Atingindo esse valor, à medida que a densidade do solo diminuiu, a umidade aumentou, por causa da baixa compressibilidade da água que ocupa a maioria dos poros para condições do grau de saturação próximo de 100%. O valor da umidade correspondente à densidade do solo máxima é denominado umidade ótima de compactação (Stancati et al., 1981). Tais resultados corroboram os resultados obtidos por Silva et al. (1986), Walker & Chong (1986), Ohu et al. (1987), Pacheco & Dias Junior (1990), Raghavan et al. (1990) e Ekwue & Stone (1995).

Comparando as curvas de compactação da figura 1, observa-se que a umidade ótima de compactação do Latossolo Roxo é maior do que a do Latossolo Vermelho-Amarelo e a do Latossolo Vermelho-Escuro para as três condições de manejo (Quadro 1). Esse fato pode ser atribuído, de acordo com Silva et al. (1986), aos maiores teores de argila e matéria orgânica do

Quadro 1. Características físicas do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), do Latossolo Roxo (LR) e do Latossolo Vermelho-Escuro (LE)

Solo	Manejo	Areia ⁽¹⁾	Silte ⁽¹⁾	Argila ⁽¹⁾	M.O. ⁽¹⁾	Ds _{máx}	Dp ⁽¹⁾	U _{ót}	VTP
LV	MN ⁽²⁾	511	134	355	21,03	1,95	2,67	0,21	0,27
LV	P	486	159	355	18,62	1,94	2,67	0,22	0,27
LV	CA	458	237	305	18,62	1,92	2,47	0,23	0,22
LR	MN	357	128	515	41,38	1,83	2,67	0,33	0,31
LR	P	207	228	565	22,24	1,93	2,86	0,29	0,33
LR	CA	133	292	575	23,45	1,92	2,82	0,32	0,32
LE	MN	440	165	395	18,62	1,96	2,56	0,24	0,23
LE	P	455	170	375	18,62	1,91	2,63	0,24	0,27
LE	CA	184	161	655	19,83	1,89	2,82	0,28	0,33

⁽¹⁾ Média de três repetições. ⁽²⁾ MN = Mata natural, P = Pastagem, CA = Cultura anual, M.O. = Matéria orgânica, Ds_{máx} = Densidade do solo máxima, Dp = Densidade de partículas, U_{ót} = umidade ótima de compactação, VTP = Porosidade total correspondente a Ds_{máx}

Latossolo Roxo (Quadro 1), que aumentam o poder de adsorção de água pelo solo. Assim, baseado no ensaio de Proctor normal, espera-se que o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho-Escuro tenham problemas de compactação a umidades mais baixas do que o Latossolo Roxo, o que poderá ser um agravante para o preparo desses solos. Observa-se, ainda no quadro 1, que a umidade ótima de compactação cresce na seguinte ordem: LV, LE e LR, para todos os manejos.

Analisando os valores das densidades do solo máximas para o mesmo tipo de solo, verifica-se que o seu valor, em geral, aumentou com o aumento do teor de areia (Quadro 1 e Figura 1), exceto para o Latossolo Roxo na condição de mata natural, a qual apresentou a menor densidade do solo máxima para o mais alto teor de areia. Esse aumento no valor da densidade do solo máxima com o teor de areia pode ser devido à maior capacidade de empacotamento das partículas do solo e à forma irregular dos grãos da areia (Pacheco & Dias Junior, 1990) ou à maior densidade de partículas da areia, o que causa aumento na densidade do solo.

Para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: cultura anual, pastagem e mata natural (Quadro 1 e Figura 1), indicando a possibilidade de os solos sob culturas anuais atingirem o nível máximo de compactação para densidades do solo máxima menores e para mais altas umidades do que as de outros tipos de manejos. No Latossolo Roxo, por sua vez, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: mata natural, cultura anual e pastagem, evidenciando a possibilidade de o solo sob pastagem atingir níveis elevados de densidade do solo para umidades elevadas (Quadro 1 e Figura 1).

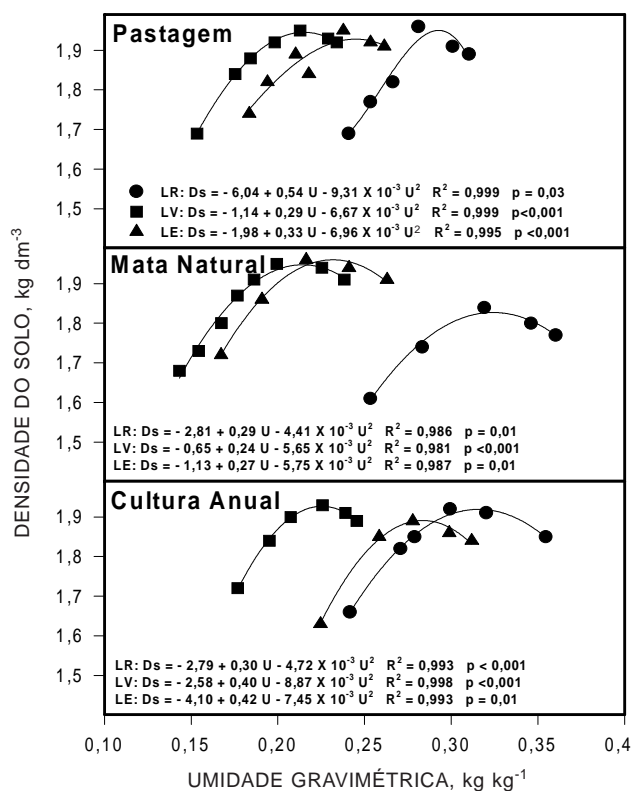


Figura 1. Curvas de compactação para a pastagem, mata natural e cultura anual em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo.

Analisando as figuras 2, 3, e 4, verifica-se que as curvas características de água do solo por secagem foram deslocadas em virtude da variação do grau de compactação, concordando com as observações de

Ohu et al. (1985) e Silva et al. (1986). Houve uma tendência, em todos os casos, de que as curvas características de água do solo, obtidas para o grau de compactação situado no ramo úmido da curva de compactação, se deslocassem para a direita em relação às curvas características de água do solo para o grau de compactação 100%, para quaisquer valores de sucção. Esse deslocamento está associado à capacidade do solo em reter mais água para cada nível de sucção (Ohu et al., 1985; Silva et al., 1986; O'Sullivan & Ball, 1993). Entretanto, apesar desse aumento na retenção de umidade, existe uma redução na água disponível para as plantas, o que concorda com Jamison & Kroth (1953).

As curvas características de água do solo (Figuras 2, 3 e 4) foram divididas quanto ao seu comportamento em duas partes, uma para sucções maiores do que 10 kPa e uma para sucções menores do que 10 kPa. Para sucções maiores do que 10 kPa e para os graus de compactação menores do que 100%, as curvas características de água do solo ficaram à direita e à esquerda da curva obtida para essa condição, mostrando, entretanto, uma tendência de comportamento semelhante. Para sucções menores do que 10 kPa, de 45 curvas características de água do solo, apenas as curvas para o grau de compactação 95,9% (para o LV) e de 95,4% (para a pastagem e cultura anual para o LE) ficaram à esquerda da curva característica de água do solo para

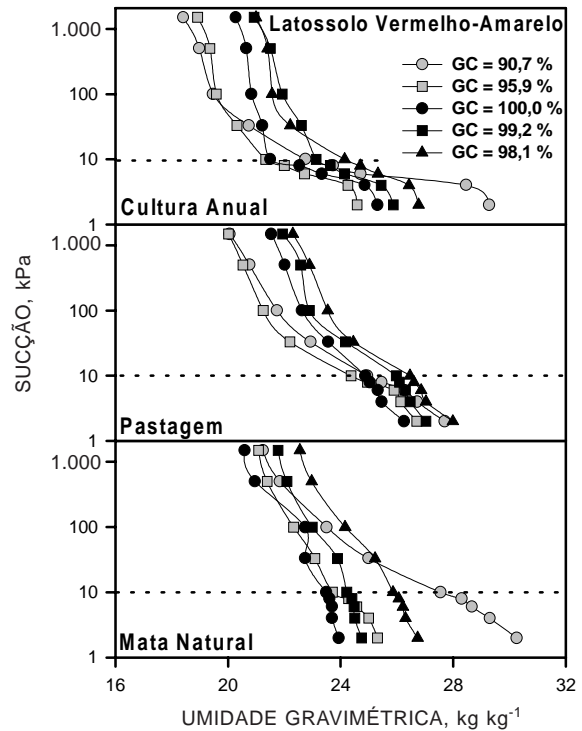


Figura 3. Curvas características de água do solo para diferentes graus de compactação (GC) de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultura anual, mata natural e pastagem.

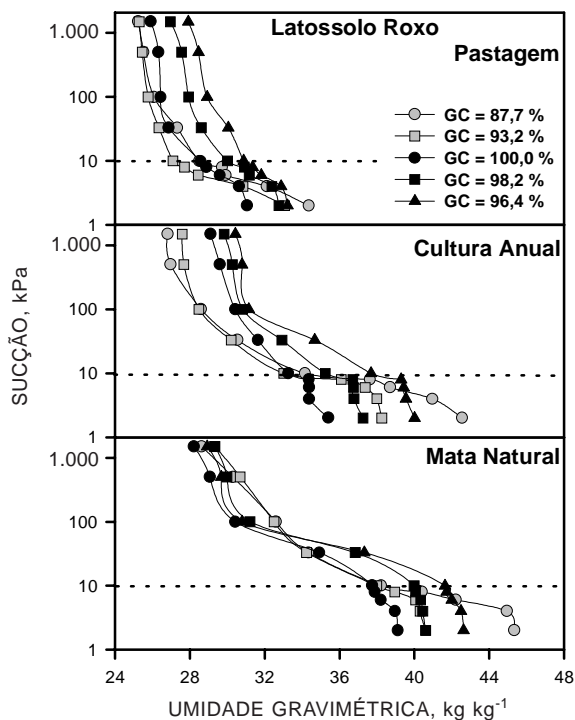


Figura 2. Curvas características de água do solo para diferentes graus de compactação (GC) de um Latossolo Roxo sob cultura anual, mata natural e pastagem.

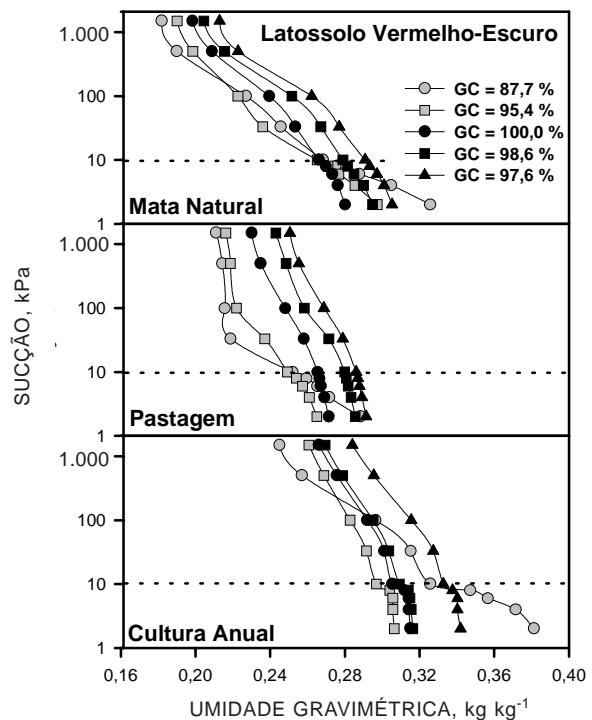


Figura 4. Curvas características de água do solo para diferentes graus de compactação (GC) de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultura anual, mata natural e pastagem.

o grau de compactação 100%, mostrando que, à medida que o grau de compactação aumenta, tanto no ramo seco como no úmido, a água retida a baixas sucções e a água disponível diminuem. Tal fato constitui grave problema que as áreas compactadas podem apresentar, dado a limitação da água disponível, afetando (comprometendo) o desenvolvimento das culturas e conseqüentemente redução na produtividade.

CONCLUSÕES

1. As umidades ótimas de compactação média da mata natural, pastagem e cultura anual do LR foram maiores do que as do LE e do LV.

2. Para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: cultura anual, pastagem e mata natural; já para o Latossolo Roxo, a densidade do solo máxima aumentou na seguinte ordem: mata natural, cultura anual e pastagem.

3. Os graus de compactação tanto no ramo úmido quanto no ramo seco da curva de compactação, promoveram um deslocamento das curvas características de água do solo em relação a obtida para o grau de compactação 100%.

4. Para sucções menores do que 10 kPa, 93% das curvas características de água do solo ficaram à direita da curva característica de água para o grau de compactação 100%.

5. Tanto no ramo seco como no ramo úmido, com o aumento do grau de compactação, ocorreu a diminuição da água disponível nos três tipos de solo e em todas as condições de manejo.

LITERATURA CITADA

- BLAKE, G. R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., eds. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, Am. Soc. Agri., 1986 a. p.363-375. (Agron., 9)
- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A., eds. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, Am. Soc. Agri., 1986 b. p.377-382. (Agron., 9)
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer method for studying soils. *Soil Sci.*, 25:265-371, 1927.
- DIAS JUNIOR, M. S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, J.F. Revisão de literatura. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:175-182, 1996.
- EKWUE, E.I. & STONE, R.J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 38:357-365, 1995.
- EKWUE, E.I. & STONE, R.J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 40:317-323, 1997.
- FIGUEIREDO, L.H.A. Propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 68p. (Tese de Mestrado)
- GROHMAMN, F. & QUEIROZ NETO, J.P. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia*, 25:421-431, 1966.
- HILLEL, D. *Introduction to soil physics*. San Diego, Academic Press, 1982. 264p.
- HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. *An introduction to geotechnical engineering*. New Jersey, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1981. 733p.
- HOWARD, R.F.; SINGER, M.J. & FRANTZ, G.A. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:231-236, 1981.
- JAMISON, V.C. & KROTH, E.M. Available moisture storage in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 22:189-192, 1953.
- KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, Am. Soc. Agr., 1986. p.635-686. (Agron., 9)
- KONDO, M.K. Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 121p. (Tese de Mestrado)
- LEBERT, M. & HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil Till. Res.*, 19:274-268, 1991.
- OHU, J.O.; AYOTAMUNO, M.B. & FOLORUNSO, O.A. Compaction characteristics of prominent agricultural soil in Borno State of Nigeria. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 30:1575-1577, 1987.
- OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V. & McKYES, E. Peatmoss effect on the physical and hydraulic characteristic of compacted soils. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 28:420-424, 1985.
- OHU, J.O.; RAGHAVAN, G.S.V. & McKYES, E. Shear strength prediction of compacted soil with varying organic contents. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 28:351-355, 1986.
- O'SULLIVAN, M.F. & BALL, B.C. The shape of the water release characteristic as affected by tillage, compaction and soil type. *Soil Till. Res.*, 25:339-349, 1993.
- PACHECO, A.A.R.C. & DIAS JUNIOR, M.S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos de adobe. *Ci. Prát.*, 14:176-190, 1990.
- PEDROTTI, A. & DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo: como evitá-la. *Agrup. Catarinense*, 9:50-52, 1996.

- RAGHAVAN, G.S.V.; ALVO, P. & MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem. *Adv. Soil Sci.*, 11:1-36, 1990
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 21p. (Boletim técnico 81)
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:91-95, 1986.
- SILVA, A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Relações entre voçorocas, uso da terra, solo e materiais de origem da região de Lavras (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, 17:459-464, 1993.
- SMUCKER, A.J.M. & ERICKSON, A.E. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B. & GUPTA, S.C., eds. Mechanics related process in structured agricultural soils. NATO applied sciences. The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989. v.172, p.205-221.
- STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B. & VILAR, O.M. Compactação do solo. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1981. p.81-93. (Ensaio de laboratório em mecânica dos solos, 7)
- WALKER, J. & CHONG, S.K. Characterization of compacted soil using sorptivity measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50:288-291, 1986.