

SELEÇÃO PRELIMINAR DE PARÂMETROS FÍSICOS MAIS ADEQUADOS  
PARA ESTUDAR O EFEITO DA COMPACTAÇÃO DE AMOSTRAS DE SOLO  
SOBRE A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA VEGETAL DE FEIJOEIRO  
(*Phaseolus vulgaris* L.)\*

O. Primavesi\*\*  
F.A.F. Mello\*\*\*  
P.L. Libardi\*\*\*\*

*RESUMO*

Amostras dos horizontes A e B<sub>2</sub> de um Oxisol (LR) e de um Alfisol (PVp) submetidas à compactação, cuja intensidade foi determinada através da medida da resistência à penetração de penetrômetro de cone de 0-8, 8-17,6 kg/cm<sup>2</sup>, foram cul

- 
- \* Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor à ESALQ/USP.
- \*\* CPG de Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP, Bolsista da EMBRAPA.
- \*\*\* Deptº de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP.
- \*\*\*\* Deptº de Física e Meteorologia da ESALQ/USP; Pesquisador do CENA/USP, bolsista do CNPq.

tivadas com feijoeiro cultivar Rio Pardo 896 durante 67 dias, em vasos com 3,8 litros de terra, em casa de vegetação, com a unidade na faixa correspondente às tensões entre 100 a 300 m bares.

Foi verificado que a produção de matéria seca vegetal parece correlacionar-se melhor com a porcentagem de poros de aeração efetiva, daí parecer ser esta propriedade o melhor indicador para a produção de matéria seca para diferentes solos, com diferentes níveis de compactação.

Os parâmetros físicos densidade do solo, condutividade hidráulica saturada e resistência mecânica à penetração de penetrômetro parecem não serem bons indicadores gerais.

## INTRODUÇÃO

No estudo do efeito da compactação dos solos sobre a produção vegetal são utilizados diversos parâmetros físicos como a densidade do solo (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1948; ZIMMERMANN & KARDOS, 1961; GROHMANN & QUEIROZ NETO, 1966), a resistência mecânica à penetração de raízes ou de penetrômetros (BARLEY, 1962; TAYLOR & GARDNER, 1963; TAYLOR et alii, 1966; TAYLOR & RATLIFF, 1969; YANG, 1970; REUMERINK, 1973; HEMSATH & MAZURAK, 1974; TAYLOR, 1974), a condutividade hidráulica saturada (SILVA et alii, 1977), a taxa de difusão de oxigênio (BERNTRAND & KOHNKE, 1957; ROSENBERG & WILLITS, 1962), bem como algumas propriedades físicas, como mudanças na microporosida

de (LAWTON, 1945; WATSON et alii, 1951; GRABLE & SIEMER, 1968; BAVER et alii, 1972; EAVIS, 1972; ROVIRA, 1975).

A densidade do solo vem sendo a mais utilizada, sendo porém muito variável com cada solo e seu horizonte, devido à variação na densidade de partícula, textura, estrutura, tipo de argila, etc (SILVA et alii, 1977), dificultando a comparação entre solos. É correlacionada com os parâmetros taxa de difusão de oxigênio, condutividade hidráulica saturada e com a resistência à penetração de (MIRREH & KETCHESON, 1972; HEMSATH & MAZURAK, 1974) e penetrometro.

PEARSON (1966) verificou por sua vez que a resistência real exercida pelo solo à penetração radicular geralmente é menor que a resistência medida pelo penetrometro. Isso porque as raízes procuram os espaços de maior fraqueza durante o seu crescimento. Além disso a resistência varia consideravelmente com a umidade, que altera a rigidez de poros (TAYLOR, 1974). TAYLOR & GARDNER (1963) afirmam que o conceito de resistência é válido somente quando o espaço macroporoso é pequeno ou ausente.

BELTRAME et alii (1981) observaram que ocorre uma redução gradual da condutividade hidráulica com o aumento da densidade do solo, sendo os reflexos da compactação maiores em um solo argiloso que arenoso. Já em 1962, ROSENBERG & WILLITS verificaram haver correlação estreita entre a produção de feijoeiro e a condutividade hidráulica em solos arenosos e a taxa de difusão de oxigênio em solos argilosos.

Este trabalho visa procurar indícios de qual propriedade ou parâmetro físico poderia ser considerado padrão, a fim de permitir comparação entre diferentes solos. Serão considerados a densidade do solo, a porosidade de aeração, a resistência de penetrometro e a condutividade hidráulica saturada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de dois solos (Latosolo Roxo, Série Itacema, e Podzólico Vermelho Amarelo - var. Piracicaba), classificados por RANZANI et alii (1966), respectivamente, como Haplacrox orthico (LR) e Typustalf ochrultico (PVP). Foram considerados os horizontes A e B<sub>2</sub>.

A TFSA foi acondicionada em vasos metálicos cilíndricos sem dreno, com 16,5 cm de diâmetro e 18 cm de altura (3,8 litros).

A adubação mineral visava alcançar uma saturação em bases de 80% (relação Ca:Mg:K de 9:3:1), e elevar o nível de P disponível acima de 15 ppm. Foram aplicados ainda 40 kg de N/ha e 20 kg de sulfato de zinco/ha (PRIMAVERSI, 1983).

Após determinada a umidade ideal para a máxima compactabilidade, foram realizados os tratamentos de compactação com níveis de resistência mecânica à penetração de penetrôgrafo de cone (com área seccional de 0,385 cm<sup>2</sup>) de 0 - 8,8 - 17,6 kg/cm<sup>2</sup> (BRUCE, 1955; CINTRA, 1980; PRIMAVERSI, 1983).

O feijoeiro cultivar Rio Pardo 896, inoculado com *Rhizobium phaseoli*, foi semeado nos vasos no dia 23/12/82, e colhido com 67 dias após a emergência.

As amostras indeformadas de solo para as determinações físicas foram coletadas com anel volumétrico de alumínio, com base em bisel, de 4,8 cm de diâmetro e 3 cm de altura, a 5-7 cm de superfície do solo nos vasos.

As determinações físicas seguiram as metodologias descritas por: a) PAULETTO (1978) para a dispersão das amostras, e KILMER & ALEXANDER (1949) para a análise granulométrica, pelo método da pipeta; b) KIEHL (1979) para

a determinação da densidade de partículas, pelo método do picnômetro; c) SCARDUA (1974) para a densidade do solo, macro e microporosidade, pelo método do anel volumétrico; d) KLUTE (1965) para a condutividade hidráulica saturada, em permeâmetro de carga constante.

A resistência do solo à penetração do penetrômetro de cone foi determinada em duas faixas de umidade: uma à umidade de máxima compactabilidade da amostra e outra na faixa de 100 a 200 mbares de tensão.

O material vegetal após colhido e limpo, foi secado em estufa com ventilação forçada a 60°C, e pesado.

O delineamento estatístico foi o de parcelas inteiramente casualizadas, com 4 repetições, constituindo cada solo um experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise granulométrica e da densidade de partículas, das quatro amostras de solo.

A Tabela 2 apresenta as diferentes determinações físicas das amostras de solo, bem como o peso da matéria seca da parte aérea do feijoeiro, e que são representadas na Figura 1, para melhor visualização, comparação e interpretação.

Inicialmente procurou-se estabelecer os padrões para a comparação dos dados das diferentes metodologias. Como a amostra de terra do solo LR-A<sub>1</sub> apresentou a maior produção de matéria seca de feijoeiro, foi escolhida como amostra padrão, referência ótima para os dados de todas as metodologias. O segundo passo foi o de estabele-

Tabela 1. Análise granulométrica e densidade de partículas (dp) das amostras de solo.

Solo	argila	Argila natural %	limo %	Areia total %	dp g/cm <sup>3</sup>
LR-A <sub>1</sub>	64,80	37,47	13,78	21,74	2,86
LR-B <sub>2</sub>	72,96	49,20	8,38	18,66	3,03
PVp-Ap	15,44	0,00	46,88	37,68	2,58
PVp-B <sub>2</sub>	44,32	25,79	33,37	22,31	2,65

cer a escala adequada para estas metodologias. Partindo da amostra padrão, e procurando fazer coincidir o ponto de máxima produção de matéria seca para todas as metodologias (correspondentes ao nível 1 de compactação), procedeu-se à distribuição dos outros pontos nas escalas, de modo que abrangessem todos os pontos encontrados nas 4 amostras de solo. E com espaçamento entre os pontos da escala de modo que não ocorresse dispersão muito grande (concentração máxima) entre os pontos extremos das curvas de produção no LR-A<sub>1</sub> (sem ampliar muito a escala, correspondentes aos níveis 0 e 2 de compactação).

A seguir foram lançados os dados levantados para as diferentes metodologias nas 4 amostras de terra, e avaliadas em relação:

- ao comportamento das curvas, com tendência de correlação positiva;

- à concentração/dispersão dos pontos das curvas, correspondentes aos níveis 0-1-2 de compactação;

- à justaposição das curvas de mesma metodologia, quando comparadas as 4 amostras de terra.

Tabela 2. Distribuição de poros, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo e produção de matéria seca, em função dos níveis de compactação (4 repetições).

Solo	N.C.	E <sub>c</sub>	E <sub>d</sub>	Micro	E'	PB	E' ef	K <sub>0</sub>	ds	Resistência (psi)		Matéria Seca
										g/cm <sup>3</sup>	cm/h	
LR-A <sub>1</sub>	0	60,23	58,51	40,10	20,13	1,72	18,41	25,943	1,14	0	0	8,36
	1	54,72	53,22	43,49	11,33	1,50	9,83	8,024	1,30	125	100	11,00
	2	52,63	50,24	43,75	8,88	2,39	6,49	1,853	1,36	250	200	9,61
LR-B <sub>2</sub>	0	63,78	58,45	34,35	29,43	5,33	24,10	28,721	1,10	0	0	4,63
	1	62,79	55,62	38,78	24,01	7,17	16,84	17,295	1,13	125	60	5,43
	2	60,63	52,87	40,12	20,51	7,76	12,75	7,412	1,19	250	125	6,46
PVP-Ap	0	45,16	43,67	36,01	9,15	1,49	7,66	2,594	1,42	0	0	7,75
	1	42,35	41,37	36,51	5,84	0,97	4,86	0,746	1,49	125	50	7,50
	2	36,82	36,57	33,48	3,34	0,25	3,09	0,259	1,63	250	85	7,39
PVP-B <sub>2</sub>	0	52,27	46,72	30,53	21,34	5,55	15,79	15,565	1,27	0	0	0,39
	1	44,72	39,60	30,13	14,59	5,12	9,47	0,055	1,47	125	100	0,37
	2	41,89	37,46	30,62	11,07	4,43	6,64	0,003	1,54	250	200	0,29

Obs.: N.C. = Nível de Compactação; E<sub>c</sub> = porosidade total calculada; E<sub>d</sub> = porosidade total determinada; micro = microporos; E' = macroporos; E' ef = macroporos efetivos; MC = % unidade para máxima compactabilidade; CC = unidade entre tensões de 100 a 200 mbars; matéria seca = parte aérea no final do ciclo; psi = 0,070308 kg/cm<sup>2</sup>, de resistência ao penetração; PB = poros bloqueados; k<sub>0</sub> = condutividade hidráulica saturada.

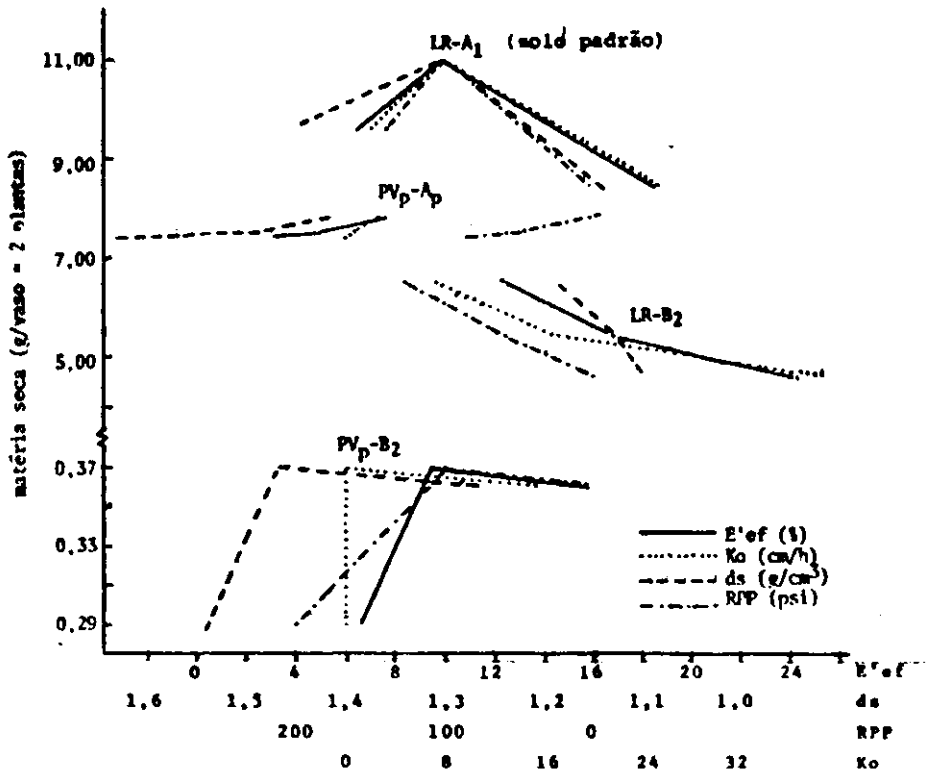


Figura 1. Comparação da tendência de correlação, agrupamento e justaposição de pontos dos parâmetros e propriedades físicas de amostras de terra de 4 solos, em função da produção de matéria seca de feijoeiro. E'ef = espaço macroporoso efetivo; ds = densidade do solo; RPP = resistência à penetração do penetrômetro; Ko = condutividade hidráulica saturada.



A amostra de terra do LR-A<sub>1</sub> apresenta a melhor tendência de correlação entre os parâmetros, e de melhor concentração dos pontos representantes dos 3 níveis de compactação.

O LR-B<sub>2</sub> já apresenta uma certa dispersão, embora a correlação pareça ser boa, à exceção da densidade do solo que apresenta desvio de tendência.

O PVp-Ap mostra dispersão sensível, especialmente no caso da resistência à penetração, e a tendência de correlação parece ser boa, com exceção da condutividade hidráulica saturada.

Já o PVp-B<sub>2</sub> também apresenta dispersão bastante ampla dos parâmetros considerados, com boa tendência de correlação, à exceção da condutividade hidráulica saturada.

Verifica-se que a porcentagem de poros de aeração efetivos foi o indicador que melhor justaposição de dados apresentou, considerando as 4 amostras de terra.

A resistência à penetração do penetrôgrafo acompanhou a tendência, mas somente para o LR-A<sub>1</sub> e PVp-B<sub>2</sub>, apresentando dispersão para as outras amostras de terra. Além disso pode-se observar na Tabela 1 que a resistência à penetração varia seus valores de acordo com a umidade do solo. Sugerem estes dados, aliados aos observados por TAYLOR & GARDNER (1963), PEARSON (1966) e TAYLOR (1974) que este parâmetro não é adequado para estudos exatos e comparativos entre solos. Poderá ser utilizado a nível de campo para detectar variações na densidade do solo (compactação) num mesmo perfil uniforme, para posterior estudo em laboratório.

Verifica-se para a densidade do solo que não apresenta uma justaposição perfeita de dados, como a macroporosidade, com desvios inclusive para dados semelhantes de poros de aeração, como nas amostras de LR-A<sub>1</sub> e PVp-B<sub>2</sub>

(Tabela 2). Isso se deve principalmente às diferenças na densidade de partículas, da textura, da estrutura entre os solos, sendo por isso muito variável (SILVA et alii, 1977).

Quanto ao parâmetro condutividade hidráulica saturada também não se verifica aquela justaposição de dados como apresentada pela macroporosidade, entre as diferentes amostras de solo e níveis de compactação, parecendo inclusive ocorrer baixa tendência de correlação no PVp-Ap e ausência de correlação nos níveis 1 e 2 de compactação no PVp-B<sub>2</sub>, considerado solo argiloso. Este último vem confirmar os alertas de ROSENBERG & WILLITS (1962) e BELTRAME et alii (1981) que verificaram ser este mais adequado em solos arenosos (ou com comportamento de solo arenoso). Fica portanto descartado para uso na comparação entre solos.

Deste modo parece ser a porcentagem de macroporos efetivos ou poros de aeração o indicador mais adequado para estudos de comparação entre solos, envolvendo produção vegetal, talvez por ser uma propriedade do solo, e por ser menos afetada por fatores externos como a água, ou mesmo inerentes às partículas sólidas como sua densidade. Os outros indicadores são parâmetros afetados por muitos fatores externos, características e propriedades do solo. Isso talvez explica sua dispersão e tendência de correlação maior ou menor dentro de cada solo.

As variações de produção de matéria seca vegetal dentro de cada solo parecem ser devidas principalmente à variação dos níveis de compactação (macroporosidade) (PRIMAVERSI et alii, 1984 b), bem como suas consequências sobre a dinâmica água-ar.

As variações nos níveis de produção vegetal entre os solos parece poder ser creditada principalmente às características químicas dos solos, como o teor de Al-trocável, CTC, saturação em bases, relação Ca:Mg:K ou mesmo o teor de P disponível, como indicado na Figura 1 e apre

sentados por PRIMAVESI et alii (1984 a), além do fator capacidade e quantidade para os nutrientes, do teor de micronutrientes, etc.

## CONCLUSÕES

Pela comparação do comportamento de propriedades e parâmetros físicos do solo, frente aos níveis de compactação e produção vegetal, na tentativa de encontrar algum indicador mais estável para comparar diferentes solos, numa seleção preliminar, chegou-se às seguintes conclusões:

- a porcentagem de poros de aeração ou macroporos efetivos parece ser um indicador adequado.

- os parâmetros físicos como densidade do solo, condutividade hidráulica saturada e resistência mecânica à penetração de penetrógrafo parecem não ser indicadores adequados para estudos envolvendo solos diferentes, ou mesmo horizontes diferentes.

## SUMMARY

PRELIMINARY SCREENING OF PHYSICAL PARAMETERS MORE ADEQUATE FOR THE STUDY OF THE EFFECT OF SOIL COMPACTATION ON THE DRY MATTER PRODUCTION OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

Soil samples of the A and B<sub>2</sub> horizons of an Oxisol (LR) and an Alfisol (Pvp) were subjected to compaction, to offer resistance to cone penetrometer penetration of

0 - 8,8 - 17,6 kg/cm<sup>2</sup>. The soil samples were cultivated with common bean, cultivar Rico Pardo 896, during 67 days, in 3,8 liter pots in geenhouse, with the soil water content between the tension levels of 100 to 300 mbars.

It could be verified, considering the different soil samples, that the dry matter production seems to correlate better with the efective aeration porosity. So it seems to be the better indicator for the plant dry matter production tendency in different soils, with different compaction degrees.

The parameters soil bulk density, saturated hydraulic conductivity an mechanical resistance to penetrograph did not seem good general indicators.

#### LITERATURA CITADA

BARLEY, K.P., 1962. The effects of mechanical stress on the growth of roots. *J. Exp. Botany*. 13: 95-110.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R., 1972. *Soil Physics*. 4 ed., New York, John Wiley & Sons, 498p.

BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P.; TAYLOR, J.C., 1981. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo* 5 (3): 145-149.

BERTRAND, A.R.; KOHNKE, H., 1957. Subsoil conditions and their effect on oxygen supply and the growth of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 21(2): 135-140.

BRUCE, R.R., 1955. An instrument for the determination of soil compactability. *Soil Sci.Soc. Am. Proc.* 19 (3): 253-257.

- CINTRA, F.L.D., 1980. Caracterização do impedimento mecânico em latossolos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, 89p. (Dissertação de Mestrado).
- EAVIS, B.W., 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I. Mechanical Impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. *Plant and Soil* 36: 613-622
- GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G., 1968. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 180-186.
- GROHMANN, F.; QUEIROZ NETO, J.P., 1966. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. *Bragantia* 25(38):421-432.
- HEMSATH, D.L.; MAZURAK, A.P., 1974. Seedling growth of sorghum in clay mixtures at various compactions and water contents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38:387-390.
- KIEHL, E.J., 1979. *Manual de Edafologia*. São Paulo. Ed. Agron. Ceres. 263p.
- KILMER, V.J.; ALEXANDER, L.T., 1949. Methods of making mechanical analysis of Soils. *Soil Sci.* 68(1): 15-26.
- KLUTE, A., 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A., ed., *Methods of Soil Analysis*, Madison, American Society of Agronomy, p.210-211 (Agronomy,9).
- LAWTON, K., 1945. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corns plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 10: 263-268.
- MIRREH, H.F.; KETCHESON, J.W., 1972. Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance

- to penetration. *Can. J. Soil. Sci.* 52: 477-483.
- PAULETTO, E.A., 1978. Estudo sobre a dispersão de amostra de terra. Piracicaba, ESALQ/USP, 68p. (Dissertação de Mestrado).
- PEARSON, R.W., 1966. Soil environment and root development. In: PIERRE, W.H.; KIRKHAM, D.; PESEK, S.; SHAW, R., eds., *Plant environment and efficient water use*, Madison, Amer. Soc. Agron., p. 95-126.
- PRIMAVESI, O., 1983. Nutrição mineral de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em dois solos sujeitos a compactação. Piracicaba, ESALQ/USP, 142p. (Dissertação de mestrado).
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F.A.F. de; LIBARDI, P.L., 1984 a. Influência da compactação em características químicas e propriedades físicas de amostras de solo cultivadas com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) *Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"* 41:
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T., 1966. Carta de solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, CES/ESALQ/USP, 85 p. (mimeografado).
- REUMERINK, A., 1973. Microstructure, soil strength and root development of *Asparragus* on loamy sands in the Netherlands. *Neth. J. Agric. Sci.* 21(1): 24-43.
- ROSENBERG, N.J.; WILLITS, N.A., 1962. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26: 78-82.
- ROVIRA, L.A.A., 1975. Estudo do sistema radicular do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Carioca. Piracicaba, ESALQ/USP, 86p. (Tese de Doutorado).
- SCARDUA, R., 1972. Porosidade livre de água de dois so-

- solos do Município de Piracicaba, SP. Piracicaba, ESALQ/USP, 83p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, L.F. da; PEREIRA, C.P.; MELLO, A.A.O. de, 1977. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento de plântulas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e na penetração das suas raízes. *Rev. Theobroma* 7: 13-18.
- TAYLOR, H.M.; GARDNER, H.R., 1963. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strenght of soil. *Soil Sci.* 96 (3): 153-156.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER Jr., J.J., 1966. Soil strenght-root penetration relations for medium-to coarse textured soil materials. *Soil Sci.* 102(1): 18-22.
- TAYLOR, H.M.; RATLIFF, L.F., 1969. Root growth pressures of cotton, peas and peanuts. *Agron.J.* 61(3): 398-402.
- TAYLOR, H.M., 1974. Root behavior as affectes by soil structure and strenght. In: CARSON, E.W. ed., *The plant root and its environment*. Charlottesville, Univ. Press of Virginia, p. 271-291.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.H., 1948. Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 65(4): 487-493.
- WATSON Jr., J.R.; MUSSER, H.B.; JEFFRIES, C.D., 1951. Soil compaction determinations with a soil penetrometer as compared with the Geiger Counter X-ray spectrometer. *Agron. J.* 43: 255-258.
- YANG, C.L., 1970. Soil hardness in relation to root growth of sugarcane. *Soils Fert. Taiwan* 27: 18-29.
- ZIMMERMANN, R.P.; KARDOS, L.T., 1961. Effects of bulk density on root growth. *Soil Sci.* 91(3):280-288.