

INFLUÊNCIA DA COMPACTAÇÃO EM CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E
PROPRIEDADES FÍSICAS DE AMOSTRAS DE SOLO CULTIVADAS
COM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)*

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

RESUMO

No experimento foram utilizadas amostras de terra de um Oxisol (LR) e um Alfisol (PVp), horizontes A e B₂, sujeitas à compactação. Foram confinadas em vasos com capacidade para 3,8 litros, incubadas durante 80 dias e cultivadas com feijoeiro durante 67 dias, numa faixa de umidade correspondente à tensão entre 100 e 300 mbares. Através das análises

* Entregue para publicação em 28/12/1984.

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.

lises físicas, pode-se verificar a ocorrência de aumento da densidade do solo e redução da porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada. Os microporos e poros bloqueados sofreram aumento no LR e redução no PVp.

A amostra de terra do LR-B₂ mostrou ser menos suscetível à compactação, enquanto que a do PVp-B₂ mostrou ser a mais suscetível, seguida do LR-A₁ e PVp-Ap.

As análises químicas revelaram tendências de aumento no teor de carbono no horizonte A sem adubo e redução no com adubo, no LR e PVp com o aumento da compactação. Verificou-se também redução do P disponível e aumento do Mg trocável nas parcelas sem e com adubo, no horizonte A de ambos os solos, com aumento da compactação.

INTRODUÇÃO

A compactação dos solos agrícolas pode ocorrer geralmente pelo tráfego de máquinas, que sobre ele exercem pressão ou desfazem seus agregados estruturais (VOMOCIL e FLOCKER, 1965; DAVIES et alii, 1973; VOORHEES et alii, 1978), o que também pode ocorrer com o tempo de uso associado ao manejo intensivo do solo (KOSHI e FRYREAR, 1973; SOUZA, 1976; MACHADO e BRUM, 1978; CASSELL et alii, 1978; FRANÇA DA SILVA, 1980).

A compactação do solo modifica a sua densidade, parâmetro muito utilizado para caracterizá-la (ROSENBERG &

WILLITS, 1962; GROHMANN & QUEIROZ NETO, 1966), reduz a porcentagem de macroporos (LAWTON, 1945; GRABLE & SIEMER, 1968; EAVIS, 1972), reduz a condutividade hidráulica saturada (ROSENBERG & WILLITS, 1962; SILVA et alii, 1977; BELTRAME et alii, 1981) e afeta outros parâmetros ou propriedades que irão influenciar o desenvolvimento radicular e, finalmente, o de toda a planta e sua produção (LOWRY et alii, 1970).

Devido a modificações de arejamento que podem ocorrer com a compactação, alguns autores constataram alterações em algumas características químicas, como variações no pH, teores de P disponível e de Al trocável (RUSSELL, 1963; WATTS et alii, 1973, citados por PRIMAVERSI, 1980).

A finalidade deste trabalho foi verificar que propriedades e parâmetros físicos e características químicas de dois solos são afetadas, e em que grau, algum tempo após a aplicação de forças de compactação. Com muitas vezes é cultivada terra do horizonte B dos solos devido à exposição por erosão, aração profunda ou raspagem do local por lâmina (terraceamento, nivelamento, enleiramento, destoca) foram consideradas amostras de terra dos horizontes A e B₂.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada TFSA 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 B₂.

O experimento constou de tratamentos sem e com adubo mineral. A adubação 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. As análises químicas das amostras de terra aparecem na Tabela 1 e as doses de adubo utilizadas na Tabela 2.

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

Após determinada a umidade ideal para a máxima compactabilidade, foram realizados tratamentos de compactação com níveis de resistência mecânica ao penetrógrafo de cone, de 0-8,8 - 17,6 kg/cm² (BRUCE, 1955; CINTRA, 1980; PRIMAVERSI, 1983).

Após 80 dias de incubação, a terra cultivada com feijoeiro (67 dias) e mantida com umidade numa faixa de tensão de 100 a 300 mbares, foi amostrada entre 5 e 7 cm da superfície, seca e novamente analisada quimicamente.

As determinações químicas das amostras de terra seguiram as metodologias descritas por CATANI & JACINTHO (1974), para pH água, C, Ca, Mg, K, P, Al, Al + H.

Para as determinações de porosidade e condutividade hidráulica saturada (K_0) foram utilizadas amostras de terra com estrutura indeformada, coletadas dos vasos com anéis volumétricos de alumínio, com base em bísel, de 4,8 cm de diâmetro e 3 cm de altura.

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 micro porosidade, pelo método do anel volumétrico; d) KLUTE (1965) para a condutividade hidráulica saturada, em permeâmetro de carga constante.

Tabela 1 - Dados de análise química inicial das amostras de solo utilizadas

Solo	pH H ₂ O	C (%)	e-mg/100 g TFSa					CTC pH 7,0	V (%)	Relação Ca:Mg:K	
			PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺				Na
LR-A ₁	6,0	1,12	0,11	5,08	1,12	0,12	0,14	4,75	11,21	56,4	42:9:1
LR-B ₂	5,8	0,54	0,04	1,60	0,64	0,06	0,22	4,32	6,84	33,6	27:11:1
PVP-A _p	5,5	0,44	0,22	3,20	0,64	0,07	0,58	2,88	7,37	53,1	46:9:1
PVP-B ₂	5,2	0,26	0,02	2,32	0,80	0,08	7,56	2,66	12,42	25,8	29:10:1

Tabela 2 - Doses de adubo mineral utilizadas (kg/ha)

Solo	g terra/vaso	CaCO ₃	MgSO ₄	KCl	Supertriplo	Uréia	ZnSO ₄
LR-A ₁	4047	964	2402	895	608	89	20
LR-B ₂	3679	1897	1560	565	1038	89	20
PVp-A _p	4746	796	1820	598	333	89	20
PVp-B ₂	4194	4316	3758	1068	1078	89	20

As fórmulas utilizadas foram:

a) densidade de partícula $dp = \frac{M}{Vp}$

b) densidade do solo $ds = \frac{M}{V}$

c) porosidade total calculada $E_c = 1 - (ds/dp) \cdot 100$

d) porosidade total determinada $E_d = U\% \text{ saturação} \times ds$

e) microporosidade = $U\%_{60 \text{ cm água}} \times ds$

f) macroporosidade $E' = E_c - \text{microporos}$

g) poros bloqueados $PB = E_c - E_d$

onde: M = massa dos sólidos; Vp = volume das partículas; V = volume do solo; U% = umidade gravimétrica % = massa de água/massa de sólidos. A condutividade hidráulica saturada (k_0) = $(Q/A.t) \times (L/\Delta H)$, onde Q = volume de água (cm^3) passado pela amostra; A = secção da amostra; t = tempo em que Q é medido; L = comprimento da amostra; ΔH = altura da carga hidráulica sobre a amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros e Propriedades Físicas

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise granulométrica e a da densidade da partícula, das quatro amostras de terra.

A Figura 1 apresenta a variação da distribuição de

Tabela 3 - Análise granulométrica e densidade de partícula (dp) das quatro amostras de terra.

Solo	Argila %	Argila Natural %	Limo %	Areia Total %	dp $\frac{3}{\text{g/cm}^3}$	S.E. $\frac{2}{\text{m}^2/\text{g}}$
LR-A ₁	64,80	37,47	13,78	21,74	2,86	95,0
LR-B ₂	72,96	49,20	8,38	18,66	3,03	98,2
PVp-A _p	15,44	0,00	46,88	37,68	2,58	155,0
PVp-B ₂	44,32	25,79	33,37	22,31	2,65	224,0

OBS.: S.E. = superfície específica, dado informativo de GROHMANN (1972)

Classe Textural: LR-A₁ e B₂ = argila pesada, "agregada"

PVp-A₁ = franco

PVp-B₂ = argila

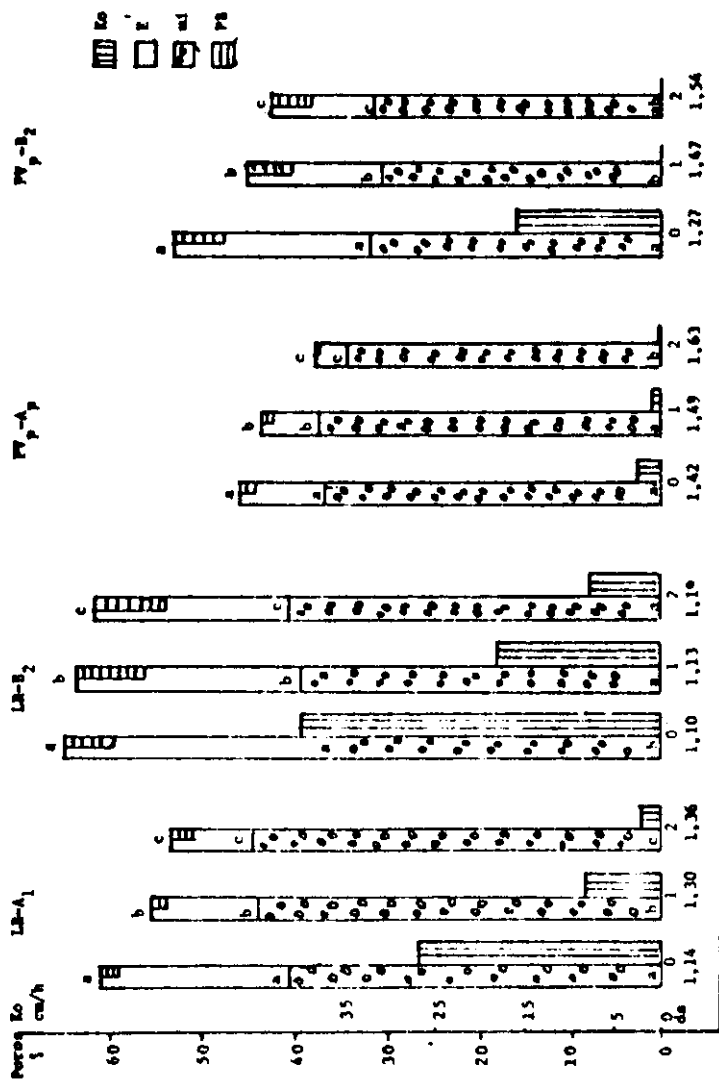


Figura 1. Distribuição de poros, condutividade hidráulica saturada (K_0) e densidade do solo (ds), em LRe PV, em função do nível de compactação (0-1-2). As letras diferentes indicam diferenças significativas. E = macro porosidade; mi = microporosidade; PB = poros bloqueados.

poros e da condutividade hidráulica saturada em função da variação na densidade do solo.

Verifica-se que com o aumento da compactação do nível 0 para 1/2 ocorre um aumento na densidade do solo, na seguinte ordem decrescente: PVp-B₂ (15,7/21,3%) - LR-A₁ (14,0/19,3%) - PVp-A_p (4,9/14,8%) - LR-B₂ (2,7/8,2%), apresentando respectivamente os seguintes valores, nos níveis 0/2: 1,27/1,54 - 1,14/1,36 - 1,42/1,63 - 1,10/1,19 g/cm³.

Considerando os níveis 0 a 1/2 de compactação, a redução da porosidade total segue a seguinte ordem decrescente: PVp-B₂ (14,4/19,9%) - PVp-A_p (6,2/18,5%) - LR-A₁ (9,1/12,6%) - LR-B₂ (1,6/4,9%) com, respectivamente 52,27 - 45,16 - 60,23 - 63,78% de poros totais no nível 0. Esta redução parece ter ocorrido às custas da macroporosidade, que diminuiu do nível 0 a 1/2, em ordem decrescente como: PVp-A_p (36,2/63,5%) - LR-A₁ (43,7/55,9%) - PVp-B₂ (31,6/48,1%) - LR-B₂ (18,4/30,3%), com valores de 9,15 - 20,13 - 21,34 - 29,43% no nível 0.

No LR ocorreu aumento na microporosidade e houve uma tendência de redução no PVp. Assim, a redução da macroporosidade pode acompanhar uma redução da porosidade total e também da microporosidade (no PVp) ou mesmo um aumento da microporosidade (no LR), sendo neste último caso, de 8,2/9,1% para o horizonte A₁ e 12,9/16,8% no B₂, considerando a variação do nível 0 para 1/2 de compactação.

No tocante aos poros bloqueados (PB), que são creditados aos macroporos, verifica-se sua presença maior no horizonte B₂ dos dois solos que no horizonte A, talvez devido à maior porcentagem de argila dispersa em água. Assim, verifica-se a presença de 1,72 a 2,39% no LR-A₁ contra 5,33 a 7,76% no LR-B₂, e 0,25 a 1,49% no PVp-A_p contra 4,43 a 5,55% no PVp-B₂. De modo geral, com o aumento da compactação, ocorreu um aumento na porcentagem de PB no LR, e uma redução no PVp, independente

de horizonte. Observa-se, portanto, que com o aumento na compactação no PVp ocorreu uma redução genérica da macroporosidade e da porcentagem de PB, enquanto que no LR ao lado da redução dos macroporos totais ocorreu um aumento na porcentagem de PB, o que reduz, ainda que temporariamente, uma fração adicional de poros de aeração efetivos na movimentação rápida de água de drenagem e no arejamento.

Considerando as quatro amostras de terra, encontra-se uma variação para os microporos numa faixa de 30,13 (PVp-B₂) a 43,75% (LR-A₁), e para macroporos uma faixa mais ampla entre 3,34 (PVp-Ap) a 29,43% (LR-B₂).

Estabelecendo a razão microporos/macroporos, verifica-se (Tabela 4) uma variação de 1,2 a 10,0, ficando a maioria dos casos com um valor inferior a 5.

Observando outro parâmetro físico, a condutividade hidráulica saturada (K_0), verifica-se sua redução constante com o aumento dos níveis de compactação das amostras de solo. Parece ocorrer uma tendência de correlação positiva da K_0 com a macroporosidade efetiva ($E' - PB$), isto é, diminuição de K_0 com a diminuição de $E' - PB$, exceto no PVp-B₂ (classe textural argila), nos níveis 1 e 2 de compactação, onde K_0 foi praticamente nulo. Neste caso, parece ter ocorrido modificação intensa na distribuição dos poros; a curva característica poderia dar melhores informações sobre o assunto. Entretanto, ROSENBERG & WILLITS (1962) já alertaram para a inviabilidade da medida de K_0 em solos argilosos. Constataram-se reduções na K_0 do nível 0 em relação aos níveis 1/2, em ordem decrescente: PVp-B₂ (99,6/100,0%) - LR-A₁ (70,9/92,9%) - PV-Ap (71,2/90,0%) - LR-B₂ (55,3/80,9%), com valores respectivos, nos níveis 0/2 de compactação, de 15,565/0,003 - 25,943/1,853 - 2,594/0,259 - 38,721/7,412 cm/h.

Para todos estes parâmetros e propriedades físicas, destaca-se a amostra do LR-B₂, que apresentou as menores

Tabela 4 - Razão microporos/macroporos nas quatro amostras de solos, em função dos níveis de compactação.

	N.C.	LR-A ₁	LR-B ₂	PVp-A _p	PVp-B ₂
E'	0	2,0	1,2	3,9	1,4
	1	3,8	1,6	6,3	2,1
	2	4,9	2,0	10,0	2,8
E	0	2,2	1,4	4,7	2,0
	1	4,4	2,3	7,5	3,2
	2	6,7	3,1	10,8	4,6

OBS.: E' = macroporos totais

E = macroporos efetivos = totais - PB

N.C. = nível de compactação

variações (exceto para PB) com o aumento da compactação. Isso talvez seja explicado pelo seu provável maior estado de agregação e um maior grau de agregação das partículas sólidas primárias, mesmo apresentando maior porcentagem de argila dispersa em água (67,4% sobre o total). A amostra que apresentou as maiores variações foi a do PVp-B₂, seguida do LR-A₁. O curioso é que estas duas amostras de solo apresentam macroporosidade efetiva semelhante, para os três níveis de compactação, mas uma condutividade hidráulica saturada completamente diversa. A análise granulométrica informa que ambas as amostras apresentam porcentagem semelhante de areia total, cabendo ao PVp-B₂ maior teor de limo e menor de argila total, embora a porcentagem de argila natural (dispersa em água) sobre a total seja semelhante (58,2 contra 57,8%). A presença dos poros bloqueados é maior no PVp-B₂. Acredita-se que a presença de argila natural (relacionada com PB) aliada à porcentagem de limo é que promovem as diferenças na K₀ nos níveis mais elevados de compactação, através de uma diferenciação na uniformidade de distribuição dos poros por tamanho e sua continuidade.

Características químicas

Quanto às características químicas (Tabela 5), embora tenha sido cultivado feijão sobre as terras, com extração de nutrientes, puderam ser verificadas algumas tendências, com o aumento da compactação do nível 0 a 2, e que não podem ser creditadas à extração vegetal:

- aumento (6,3 a 40,3%) no teor de carbono no horizonte A sem adubo, e redução (10,7 a 12,8%) quando com adubo, nos dois solos;

- redução (6 a 25%) do P-disponível nas parcelas adubadas do horizonte A de ambos os solos;

- redução (6,8 a 18,5%) do Mg-trocável no horizonte A dos dois solos;

Tabela 5 - Análise química das amostras de solo utilizadas, após compactação e incubação por 86 dias, e vegetadas com falcóforo.

Solo	MC	pH H ₂ O	C (%)	PO ₄ ³⁻ Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC ₀	CTC ₇	V (%)	Relação Ca:Mg:K	
----- e. mg/100 g T.F.S.A. -----													
Sem Adubo													
LR-A ₁	0	5,4	1,86	0,07	4,66	1,62	0,12	0,10	4,90	6,50	11,40	56,1	39:14:1
	1	5,5	1,83	0,07	4,62	1,51	0,13	0,10	4,86	6,36	11,22	55,8	36:12:1
	2	5,5	2,61	0,07	4,64	1,32	0,14	0,10	4,95	6,20	11,15	54,7	33:9:1
LR-B ₂	0	5,0	0,84	0,03	1,60	0,46	0,04	0,31	4,33	2,41	6,74	31,2	40:12:1
	1	5,0	0,89	0,04	1,72	0,47	0,06	0,16	4,72	2,41	7,13	31,6	29:8:1
	2	5,0	0,83	0,03	1,60	0,51	0,04	0,30	4,42	2,45	6,87	31,3	40:13:1
PVp-A _p	0	5,1	0,48	0,02	2,80	0,88	0,10	0,48	2,24	4,26	6,50	58,2	28:9:1
	1	4,9	0,60	0,02	2,78	0,90	0,11	0,52	2,24	4,31	6,55	57,9	25:8:1
	2	5,0	0,51	0,02	2,70	0,82	0,10	0,52	2,28	4,14	6,42	56,4	27:8:1
PVp-B ₂	0	4,7	0,39	0,02	1,08	1,87	0,18	7,76	2,40	10,89	13,29	23,6	6:10:1
	1	4,6	0,35	0,02	1,12	1,72	0,19	7,72	2,28	10,75	13,03	23,3	6:9:1
	2	4,6	0,38	0,03	1,26	1,62	0,18	7,60	2,24	10,66	12,90	23,7	7:9:1
Com Adubo													
LR-A ₁	0	5,5	2,03	0,16	5,38	2,38	0,53	0,10	4,27	8,39	12,66	65,5	10:5:1
	1	5,5	1,64	0,12	4,92	1,95	0,50	0,08	4,68	7,45	12,13	60,8	10:4:1
	2	5,6	1,80	0,12	4,76	2,02	0,49	0,09	4,52	7,36	11,88	58,1	10:4:1
LR-B ₂	0	5,3	0,80	0,16	3,12	0,94	0,26	0,12	3,72	4,44	8,16	52,9	12:4:1
	1	5,4	0,81	0,15	3,10	1,06	0,29	0,10	3,55	4,55	8,10	54,9	11:4:1
	2	5,4	0,80	0,15	3,06	1,14	0,30	0,09	3,84	4,59	8,43	51,6	10:4:1
PVp-A _p	0	5,0	0,62	0,11	3,39	1,61	0,20	0,17	2,23	5,37	7,60	68,4	17:8:1
	1	4,9	0,60	0,12	3,51	1,55	0,25	0,17	2,15	5,48	7,63	69,6	14:6:1
	2	4,9	0,56	0,10	3,45	1,43	0,25	0,22	2,10	5,35	7,45	68,9	14:6:1
PVp-B ₂	0	4,3	0,41	0,35	5,78	2,58	0,59	3,04	2,40	11,99	14,39	62,2	10:4:1
	1	4,3	0,39	0,32	5,78	2,52	0,58	3,00	2,52	11,88	14,40	61,7	10:4:1
	2	4,3	0,41	0,34	5,54	2,72	0,60	3,24	2,28	12,10	14,38	61,6	9:5:1

OBS.: MC = nível de compactação; CTC₀ = CTC efetiva; CTC₇ = CTC pH 7

- aumento (10,0 a 29,4%) do Al-trocável nas parcelas adubadas do horizonte A de ambos os solos.

Torna-se difícil uma explicação correta para estes fenômenos, embora possam ser levantadas algumas hipóteses:

(i) no caso da matéria orgânica, uma menor atividade de microrgânica nas parcelas sem adubo poderia levar ao acúmulo, enquanto uma maior atividade microrgânica, além do efeito provável de salinidade maior com a compactação, pode ter levado a uma redução da matéria orgânica nas parcelas adubadas;

(ii) a redução do Mg^{2+} trocável com o aumento da compactação não pode ser explicada pela maior absorção pelas plantas; talvez haja algum efeito de equilíbrio relacionado com Al^{3+} ;

(iii) o aumento do Al^{3+} trocável, encontra explicações, citadas por diversos autores, no abaixamento do pH (por diversos fatores) com o aumento da compactação, embora pelos dados disponíveis não seja possível verificar um decréscimo visível do pH;

(iv) a redução do PO_4^{3-} disponível pode encontrar explicação na sua fixação ou insolubilização devida ao aumento no teor de Al^{3+} trocável.

SUMMARY

INFLUENCE OF COMPACTATION ON CHEMICAL CHARACTERISTICS AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL SAMPLES CROPPED WITH BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)

Soil samples of an orthic Haplacrox (LR) and an

ochrultic Typustalf (PVp) were used in this experiments, including the A and B₂ horizon, subject to compaction. They were confined in 3,8 l pots, and incubated during 80 days (cultivated with beans during 67 days), with a soil water tension between 100 to 300 mbars.

The physical determinations showed an increase of the soil bulk density, and a decrease of the total porosity and the saturated hydraulic conductivity. The micropores and bloqued pores increased in LR and decreased in PVp.

The soil samples of the LR-B₂ were less susceptible to changes due compaction, while of the PVp-B₂ were the most susceptible, followed by those of the LR-A₁ and the PVp-A_p.

The chemical data showed tendencies of increase of the carbon level in the A horizon without fertilizer, and decrease with fertilizer, on LR and PVp with compaction increase. They also showed decrease of the available P and increase of the exchangeable Al with fertilizer, and reduction of the exchangeable Mg without and with fertilizer in the A horizon of both soils, as the compaction was increased.

LITERATURA CITADA

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.

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

- CASSELL, D.K.; BROWEN, H.D.; NELSON, L.A., 1978. An evaluation of chemical impedance for three tillage treatments in Norfolk sandy loam. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42(1):116-120.
- CATANI, R.A.; JACINTHO, A.O., 1974. **Análise química para avaliar a fertilidade do solo.** Piracicaba, ESALQ/USP, 57 p. (Boletim Técnico-Científico, 37).
- CINTRA, F.L.D., 1980. Caracterização do impedimento em latossolos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, 89 p. (Dissertação de Mestrado).
- DAVIES, D.B.; FINNEY, J.B.; RICHARDSON, S.J., 1973. Relative effects of tractor weight and wheel-slip in causing soil compaction. *J. Soil Sci.*, 24(3): 399-409.
- EAVIS, B.W., 1972. Soil physical conditions affecting seedling root growth. I-Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influence by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. *Plant and Soil*, 36: 613-622.
- FRANÇA da SILVA, I., 1980. Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um latossolo. Porto Alegre, UFRGS, 70 p. (Dissertação de Mestrado).
- 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.
- GROHMANN, F., 1972. Superfície específica do solo de unidades de mapeamento do Estado de São Paulo. II - In-

fluência da matéria orgânica, dos óxidos de ferro livres e dos cátions trocáveis na superfície específica total do solo. *Bragantia* 31(14): 167-185.

KIEHL, E.J., 1979. Manual de edafologia. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 263 p.

KILMER, V.J.; ALEXANDER, L.T., 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. *Soil Science*, 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).

KOSHI, P.T.; FRYREAR, D.W., 1973. Effect of tractor traffic, surface mulch, and seedbed configuration on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37: 758-762.

LAWTON, K., 1945. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 10: 263-268.

LOWRY, F.E.; TAYLOR, H.M.; HUCK, M.G., 1970. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34(2): 306-309.

MACHADO, J.A.; BRUM, A.C.R., 1978. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 2(1): 81-84.

PAULETTO, E.A., 1978. Estudo sobre dispersão de amostra de terra. Piracicaba, ESALQ/USP, 68 p. (Dissertação de Mestrado).

PRIMAVESI, A., 1980. O manejo ecológico do solo. São Paulo, Editora Nobel, 541 p.

- PRIMAVESI, O., 1983. Nutrição mineral de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois solos sujeitos à compactação. Piracicaba, ESALQ/USP, 142 p. (Dissertação de Mestrado).
- RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T., 1966. Carta dos Solos do Município de Piracicaba. Piracicaba, CES/ESALQ/USP, 85p. (Mimeografado).
- ROSENBERG, N.J.; WILLITS, N.A., 1962. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 26: 78:82.
- RUSSELL, E.W., 1963. *Soil conditions and plant growth*. London, Longmans, 635 p.
- SCARDUA, R., 1972. Porosidade livre de água de dois solos do Município de Piracicaba, SP. Piracicaba, ESALQ/USP, 83p. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, L.F. da; PEREIRA, C.P.; MELO, 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.
- SOUZA, L. da S., 1976. Caracterização física e fator erodibilidade em solos da unidade de mapeamento São Jerônimo (Paleudult), em diferentes sistemas de manejo. Porto Alegre, UFRGS, 113p. (Dissertação de Mestrado).
- VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J., 1965. Degradation of structure of yolo loam by compaction. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29: 7-12.
- VOORHEES, W.B.; SENST, C.G.; NELSON, W.W., 1978. Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the Northern corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 344-349.