

PROPRIEDADES HÍDRICAS E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE QUATRO UNIDADES DE SOLO DO ESTADO DE SÃO PAULO¹

José Antonio Jorge²
Toshio Igue²
Célio Luís Franco de Almeida²

INTRODUÇÃO

A Física do Solo tem como objetivo estudar a mecânica, o calor e a ótica em relação ao solo e de forma mais abrangente algumas propriedades físico-químicas como o comportamento dos colóides e dos líquidos. O Comitê de Terminologia da Sociedade de Ciência do Solo da América (COMMITTEE, 1956) define a **velocidade de infiltração** como o volume de água que se movimenta em profundidade no solo por unidade de área e unidade de tempo. KOHNKE (1968) enfatiza que a capacidade de infiltração aumenta com o incremento na porosidade constituída de **poros grandes**, e varia, pois, com o uso do solo. Destarte, a capacidade de infiltração decresce, na seguinte ordem: solo florestado, pastagem, terreno sob rotação de culturas e terreno sob cultivo contínuo de culturas em linha. Outro aspecto ressaltado pelo autor é que a capacidade de infiltração é maior no início da chuva ou da irrigação, pois os grandes vazios do solo são inicialmente tomados pela água. Com o passar do tempo, as gotas d'água vão compactando, pelo impacto, a superfície do solo, os materiais finos vão sendo levados para dentro do perfil, enchendo os poros e dificultando o escape do ar para a atmosfera para possibilitar a entrada de mais água.

A condutividade hidráulica não saturada depende do tamanho dos poros ativos e da tensão em que a água é retida do solo, enquanto que não ocorrendo a interface

¹ Trabalho apresentado no XX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Belém, de 14 a 21 de julho de 1985.

² Instituto Agrônomo, Campinas. Bolsistas do C.N.Pq.

Para a água, o fluxo saturado se relaciona com a taxa do fluxo não saturado. Analisando as equações de Poiseuille e Darcy, KOHNKE (1968) conclui que a condutividade hidráulica não depende da quantidade total de poros. Seguindo-se este raciocínio salienta-se a argila, que embora seja um material extremamente poroso, apresenta condutividade hidráulica inferior a de um solo arenoso, especialmente quando constituído de grãos de tamanho uniforme. IERANTONI (1973) encontrou alta correlação entre o teor de argila e os parâmetros hídricos nos latossolos.

A consistência é uma propriedade física do solo que retrata a resistência à penetração e à deformação do solo, reflete a ação conjunta da textura, da matéria orgânica, da estrutura, e da estabilidade de agregados num determinado teor de água.

Como o espaço ocupado por ar (ou porosidade de aeração) influi na difusividade do ar do solo, também se relaciona com a aeração das raízes. Uma relação experimental entre a difusividade do solo e a porosidade de aeração (E_a) foi proposta por PENMAN (1940):

$$\frac{D}{D_o} = 0,66 E_a$$

onde,

D = difusividade de um gás no solo

D_o = difusividade de um gás ao ar livre.

Contudo, quando o E_a é menor que 30% a equação de ARSHALL (1959) concorda melhor com os dados experimentais:

$$\frac{D}{D_o} = (\sqrt{E_a}) \cdot E_a$$

SCHROEDER (1984), analisando outros parâmetros da física do Solo, acentua que a porosidade total determina

importantes propriedades hídricas e térmicas, além de influir na economia do ar, de nutrientes, o espaço para deseenvolvimento radicular e afeta os processos de translocação que ocorrem na gênese do solo.

A porosidade total (Pt) pode ser obtida tomando-se a densidade aparente (∂a) e a densidade real (∂r):

$$Pt\% = \left(1 - \frac{\partial a}{\partial r} \right) \cdot 100$$

SCHROEDER (1984) considera um solo "ideal" o que tiver uma relação de espaço poroso de 50%, o que equivale a 1:1 a relação sólidos:vazios. Para aquele autor a relação de poros grandes (capacidade para o ar):poros médios + pequenos (capacidade para água) deve ser ao redor de 2:3. Entende-se por poros médios aqueles com diâmetro entre 0,2 e 10 μ m.

O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades físicas do solo em função da relação solo-água-ar e da textura.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em quatro unidades de mapeamento de solos, a saber: Areia Quartzosa (AQ) profunda, álica A moderado, relevo suave ondulado (*Typic Quartzipsamment*), no Município de Leme, SP, cultivada em anos anteriores com cana-de-açúcar e atualmente em pousio; Latossolo Vermelho-Escuro (LÉ), distrófico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado, unidade de Limeira (*Typic Haplorthox*); Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa), A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado, unidade Mato Dentro (*Typic Haplorthox*) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd), A moderado, textura média, relevo suave ondulado, unidade Campininha (*Fluventic Haplorthox*). As unidades estudadas referem-se ao levantamento pedológico semidetalhado do Estado

de São Paulo (OLIVEIRA *et alii*, 1982), na Fazenda Sete Lagoas, Município de Moji Guagu, SP. O estudo foi feito na entre-linha de cultura de citros com 0,5, 11,5 e 21 anos de idade, respectivamente para as unidades Limeira, Mato Dentro e Campininha. A caracterização física e química dos solos encontra-se no quadro I.

Para a descrição morfológica, coleta de amostras de formadas e indeformadas, foram abertas três trincheiras com 120 cm de profundidade, em locais previamente sorteados, para cada unidade de solo. Em cada perfil, coletou-se amostra indeformada para cada horizonte, com anéis volumétricos de PVC com 38,5 cm³ a qual foi utilizada nas determinações de curva característica de retenção de água e densidade do solo. Foram retiradas, ainda, amostras deformadas para as análises químicas, granulométricas, densidade das partículas e limite de liquidez.

As análises físicas foram efetuadas pelos seguintes métodos:

Análise granulométrica pela pipeta e dispersão com hidróxido de sódio 0,1 N mais hexametáfosfato de sódio, com agitação lenta (35 rpm), de acordo com GROHMANN & RAIJ (1974) e escala textural de Atterberg.

A densidade das partículas (em g/cm³) foi determinada pelo método do álcool etílico absoluto, utilizando-se balão volumétrico aferido de 50 ml (CAMARGO *et alii*, 1986). A densidade do solo (ds) foi obtida em amostras indeformadas colhidas em anéis de PVC com 38,5 cm³, através da expressão:

$$ds(\text{g/cm}^3) = \frac{\text{peso seco da amostra (105}^{\circ}\text{C)}}{\text{volume do anel (38,5 cm}^3\text{)}}$$

WDRO I - Características físicas e químicas das unidades de solos estudados.

Unidade solo	Horizonte	Profundidade (cm)	Argila (%)	Silte (%)	Área fina (%)	Área grossa (%)	Arg. disp.*	Grau de flocculação dispersão	REP**	pH		C (%)	S ¹	CTC ¹	V (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
										H ₂ O	KCl					
Beira	Ap	0-18	51	01	31	17	39	24	0,41	5,6	5,0	1,3	2,69	6,29	42,8	04
	A3	18-34	53	04	24	17	39	29	0,43	4,9	4,3	1,1	0,84	4,74	17,7	32
	B21	34-60	56	03	25	15	43	77	0,43	5,0	4,4	0,9	0,44	3,34	13,2	48
	B22	60-120+	59	02	26	13	42	71	0,44	4,9	4,8	0,7	0,32	2,02	15,8	24
Ia	A1	0-7	51	03	49	48	01	0	0,40	4,5	3,9	0,4	0,12	2,22	4,4	71
	A3	7-34	03	01	54	42	03	0	0,39	4,5	4,1	0,2	0,02	1,52	1,2	51
	C1	34-60	04	01	45	49	04	0	0,37	4,5	4,2	0,2	0,12	1,62	1,2	71
	C2	60-120+	03	0	43	47	04	20	0,40	4,6	4,4	0,2	0,22	1,82	1,5	38
C	Ap	0-14	34	10	47	12	19	39	0,33	5,3	4,4	1,5	4,15	8,25	50,3	07
	A3	14-25	22	09	47	12	24	23	0,31	4,6	4,3	1,3	2,51	7,51	33,4	32
	B1	25-43	36	09	41	10	37	75	0,35	4,3	3,9	0,8	2,21	6,91	32,0	39
	B21	43-62	36	12	44	08	01	03	0,39	4,3	4,0	0,6	0,82	4,22	21,9	65
	B22	62-98	38	10	43	09	01	03	0,40	4,5	4,1	0,5	0,57	3,77	15,1	71
	B23	98-120+	39	03	50	08	02	05	0,45	5,2	4,2	0,3	0,47	3,97	12,1	68
Epi- ba	Ap1	0-14	16	04	21	59	15	06	0,36	6,4	5,8	1,2	4,54	5,64	80,5	0
	Ap2	14-26	16	03	20	61	15	06	0,34	6,4	5,7	0,4	3,17	4,97	63,3	0
	B1	26-50	22	02	26	50	02	91	0,40	6,5	5,3	0,4	2,34	4,54	55,9	0
	B21	50-80	22	03	20	53	01	95	0,40	4,8	4,0	0,3	0,86	2,86	30,1	45
	B22	80-120+	23	04	21	52	0	100	0,40	4,8	4,1	0,2	1,04	2,84	36,6	32

* Argila dispersa em água¹; em meq/100 g de TFS².
 A. = $\frac{S}{S + A1} \cdot 100$

REP: relação do espaço poroso.

Limite de liquidez pelo aparelho de Casagrande (FOR SYTHE, 1975 e SOWERS, 1965), considerando-se a porcentagem de água retida pela amostra de solo, correspondente a 25 pancadas. Nos casos em que não se conseguiu o valor precisamente com 25 pancadas, empregou-se a equação formulada pela American Society for Testing Materials, citada por SOWERS (1965):

$$\text{Limite de liquidez} = W_n (N/25)^{0,12},$$

onde

W_n = umidade (%) obtida

N = o número de pancadas relativo à determinação.

A taxa de infiltração básica ou infiltração por unidade de tempo em equilíbrio dinâmico foi obtida ao redor de 120 minutos após o início de saturação. Utilizaram-se dois anéis concêntricos com diâmetros de 47,0 e 24,5 cm respectivamente, enterrados 5 cm no solo, sendo que a alimentação com água no interior de ambos foi feita de forma a manter uma lâmina constante, sendo que a água no cilindro externo controla o movimento lateral do cilindro central, onde são feitas as medições (CAMARGO *et alii*, 1986).

Curva característica de retenção de água em amostras indeformadas, nas tensões de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 5,0 e 15,0 bares.

Resistência à penetração determinada com penetrômetro de impacto, com as dimensões do cone padronizadas pela ASAE Recommendation, sendo a leitura de penetração feita na própria haste que é graduada em centímetros.

As determinações foram feitas em solos com baixo teor de umidade.

A água disponível (AD) expressa em centímetros de água por 100 cm de solo foi calculada pela equação (RANZANI, 1963):

$$AD = \frac{CC - PMP}{100} \cdot \partial a \cdot H$$

sendo,

CC = capacidade de campo em % peso

PMP = ponto de murcha permanente em % peso

∂a = densidade aparente

H = profundidade.

As análises químicas foram efetuadas pelos métodos usuais da Seção de Pedologia do Instituto Agrônomo, Campinas, SP, a saber, pH em relação solo-líquido 1:2,5; C orgânico com bicromato de potássio; bases trocáveis com HNO_3 0,05 N, acidez titulável com acetato de cálcio 1N, pH 7; alumínio trocável com KCl e Fe_2O_3 com H_2SO_4 (1+1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva característica de retenção de água encontra-se na figura 1.

Houve diferença altamente significativa entre as tensões para todos os solos, não ocorrendo interação entre tensões e profundidade. Em todos solos considerados o efeito das tensões sobre o teor de umidade, foram negativos, isto é, à medida que aumentam as tensões a umidade tende a decrescer. A função polinomial que melhor se ajustou aos dados foi a do terceiro grau, sendo os componentes lineares e cúbicos os de maior peso. A água disponível ao longo do perfil de 0-120 cm de profundidade da Areia Quartzosa em volume é de 1,9%, portanto a mais baixa dentre as unidades de solos estudados.

A unidade Limeira, de textura mais argilosa, demonstrou maior capacidade total de retenção de água e de água disponível. O horizonte B22 (60-120 cm⁺), embora mais argiloso, reteve menor quantidade de água, provavelmente devido ao menor teor de matéria orgânica. A água disponível para a camada 0-120 cm em volume é de 10,9%, portanto a mais alta dentre as quatro unidades de solos estudados.

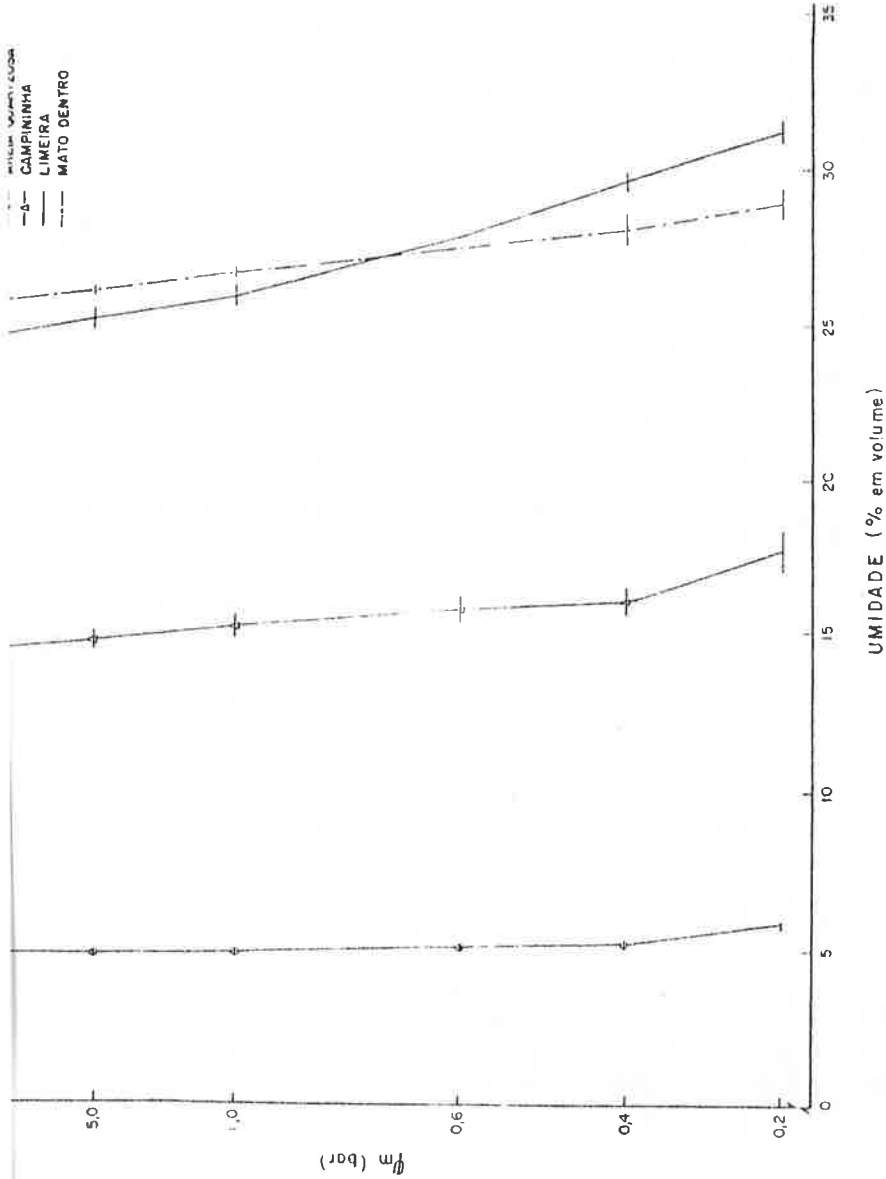


FIGURA 1 - Curva característica de retenção de umidade; média de três repetições (camada 0-120 cm).

A unidade Mato Dentro foi a segunda com maior capacidade de retenção de água. A capacidade de água disponível desta unidade em volume é de 6,0%.

A unidade Campininha não apresentou diferença significativa a 5% para as tensões 0,2 e 0,4, o mesmo ocorrendo para as tensões 0,6 bar e superiores. A capacidade de água disponível desta unidade em volume é de 6,4%.

Na Areia Quartzosa, conforme verifica-se no quadro I, o efeito do componente cúbico (3º grau) foi mais acentuado que no linear.

Corroborando trabalhos anteriores (PIERANTONI, 1973), encontrou-se uma correlação entre o teor de argila e os parâmetros hídricos para os solos pesquisados. Encontraram-se as seguintes equações de regressão entre o teor de argila e retenção de água:

a) água retida a 0,2 bar (Y_a) em função do teor de argila (x)

$$Y_a = 7,21 + 0,4999x, \quad r = 0,93$$

b) água retida a 15,0 bar (Y_a) em função do teor de argila (x)

$$Y_a = 6,43 + 0,3991x, \quad r = 0,87$$

c) água disponível (Y_{ad}) em função do teor de argila (x)

$$Y_{ad} = 0,7933 + 0,106x, \quad r = 0,87$$

Nos estudos de resistência à penetração (figura 2), observou-se grande diferença entre os solos, em todas as profundidades estudadas. A menor resistência à penetração, em todas as camadas, foi observada na Areia Quartzosa e a maior na unidade Mato Dentro, situando-se as unidades Limeira e Campininha como intermediárias.

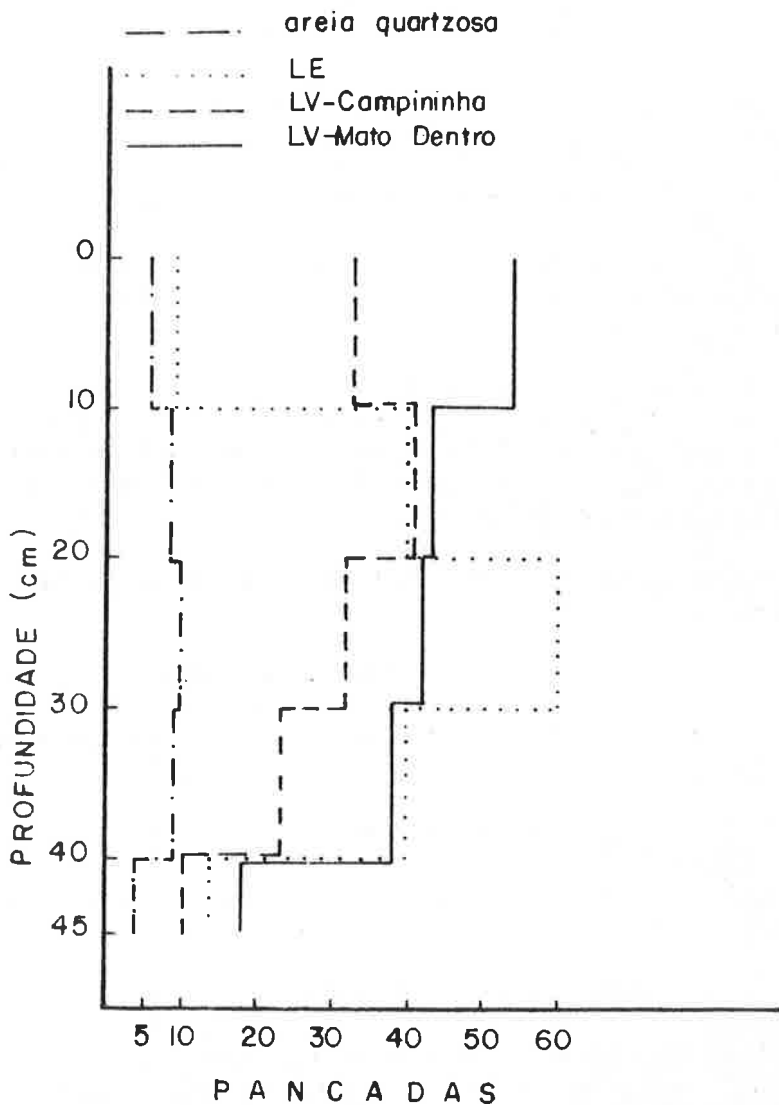


FIGURA 2 - Resistência à penetração; média de seis repetições.

Tomando-se a taxa de infiltração básica, aos 120 minutos, média de três repetições, tem-se de acordo com a Classificação do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, conforme citação de KOHNKE (1968), ou LEPSCH *et alii* (1983), em milímetros/minuto, respectivamente: Limeira 2,7, rápida/moderada, Campininha 2,8, rápida/moderada, Areia Quartzosa 8,1, muito rápida/rápida e Mato Dentro 13,0 muito rápida/rápida. Embora a relação do espaço poroso tenha sido mais alta na unidade Limeira (quadro I), a velocidade de infiltração foi maior na unidade Mato Dentro e no solo Areia Quartzosa, confirmando a equação de Poiseuille e a lei de Darcy de que a condial importância a dimensão dos poros (quadro II).

QUADRO II - Taxa de infiltração.

Unidade	mm/mim	Classificação	
		EUA	Brasil
Limeira	2,7 b	rápida	moderada
Campininha	2,8 b	rápida	moderada
Areia Quartzosa	8,1 a	muito rápida	rápida
Mato Dentro	13,0 a	muito rápida	rápida

Em nenhum dos solos a relação sólidos: vazios chegou a 1:1 como apregoa SCHROEDER, variando o volume total de poros de 31 a 45% nos vários horizontes estudados.

O limite superior de plasticidade ou limite de liquidez só foi possível de ser determinado nas duas unidades mais argilosas. Na unidade Limeira não houve diferença significativa entre os horizontes, variando os valores entre 31,1 e 35,9%. Na unidade Mato Dentro, as médias, a iniciar da superfície, são de 24,6, 28,6, 28,0, 30,2, 32,5, 33,0 e 36,2%, não diferindo entre si, os quatro primeiros horizontes, o mesmo ocorrendo com relação aos três horizontes mais profundos; estes valores crescentes acompanham o teor de argila dos respectivos horizontes.

QUADRO III - Resumo da análise de variância para avaliação dos efeitos das tensões e profundidades em diferentes solos.

Quadro médio

F.V.

	LE	AQ	MD	Camp
Tensões				
T	86,1822(5)	1,7609*(5)	28,8917*(5)	22,3313*(5)
TL	203,2827(1)	2,2491(1)	87,3770(1)	49,0975(1)
TQ	39,1068(1)	0,5578(1)	12,1531(1)	11,4363(1)
TC	137,5763(1)	3,5323(1)	35,4279(1)	33,4724(1)
T4º e 5º	26,4236(2)	1,2316(2)	4,7502(2)	8,8252(2)
Profundidade	89,4805*(3)	2,4693*(3)	110,4753*(5)	36,8446*(4)
Interação	2,1820*(5)	0,0562*(15)	0,4810(25)	0,6028(20)
Resíduo	2,0491(48)	0,1504(48)	3,0173(72)	3,5704(60)

CONCLUSÕES

1. Houve diferença altamente significativa na retenção de água nas tensões e para todos os solos estudados.

2. A água disponível, em volume, na camada 0-120 cm, foi maior no LE-Limeira, decrescendo no LV-Campininha, LV-Mato Dentro e na Areia Quartzosa.

3. A Areia Quartzosa apresentou a menor e o LV-Mato Dentro a maior resistência à penetração, situando-se as unidades LE-Limeira e LV-Campininha como intermediárias.

4. A taxa de infiltração básica foi maior na unidade de Mato Dentro, decrescendo na Areia Quartzosa, LV-Campininha e LE-Limeira.

5. O volume total de poros, no horizonte A, foi maior na unidade LE-Limeira, seguida pela Areia Quartzosa, LV-Campininha e LV-Mato Dentro.

6. Encontrou-se correlação entre teor de argila e água retida a 0,2 e 15,0 bar, assim como entre teor de argila e água disponível.

RESUMO

Avaliaram-se as interrelações da textura e porosidade com as propriedades hídricas de quatro solos, Areia Quartzosa (AQ) *Orthoxic Quartzipsament*, LV-Campininha, *Fluventic Haplorthox*, LV-Mato Dentro *Typic Haplorthox*, e LE-Limeira, *Typic Haplorthox*, com teores crescentes de argila + silte, respectivamente, 5 + 0%, 23 + 4%, 39 + 3%, e 59 + 2%. A capacidade de água disponível (CAD) foi de 1,9%, 6,0%, 6,4% e 10,9% respectivamente para a AQ, o LV-Mato Dentro, o LV-Campininha e o LE-Limeira. Para todos os solos houve diferenças significativas de retenção de água para várias tensões. A menor resistência à penetração se deu na AQ e a maior no LV-Mato Dentro; nestas duas unidades verificou-se a maior velocidade de infil-

tração de água. A retenção de água assim como a CAD cresceram nos solos com o teor de argila + silte. Não houve relação entre classe textural e resistência à penetração e nem tampouco entre classe textural e velocidade de infiltração de água.

SUMMARY

HYDRAULIC PROPERTIES AND RESISTANCE TO PENETRATION OF FOUR SOILS IN SÃO PAULO STATE

Texture, porosity, and hydraulic property relations were evaluated for four different soils, a Sand, Orthoxic Quartzipsamment, a Red Yellow Latosol "Campininha", Fluventic Haplorthox, a Red Yellow Latosol "Mato Dentro", Typic Haplorthox, and a Dark Red Latosol (DRL), Typic Haplorthox, with increasing levels of clay + silt, respectively, 5 + 0%, 23 + 4%, 39 + 3% and 59 + 2%. The available water capacity was 1.9% for sand, 6.0% for the Mato Dentro soil unit, 6.4% for the Campininha soil unit and 10.9% for the DRL.

The smallest resistance to penetration was found in the sand and the highest resistance in the Mato Dentro soil. The highest infiltration rate was also found in these two soil - units although the DRL presented the highest pore space ratio. Both the total water retention and the AWC followed the increase in clay + silt content. No interaction either between texture and resistance to penetration or between texture and infiltration rate was found.

LITERATURA CITADA

CAMARGO, O.A. de, A.C. MONIZ, J.A. JORGE & J.M.A.S. VALADARES, 1986. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos usados na Seção de Pedologia, IAC, Campinas, Boletim Técnico 106.

- COMMITTEE ON TERMINOLOGY OF THE SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, 1956. Report of definitions approved by the Committee on Terminology. **Proc. Soil Sci. Soc. Am.** **20**:430-440.
- FORSYTHE, W., 1975. **Física de suelos. Manual de Laboratorio**, Costa Rica, Turrialba, IICA, 221 p.
- GROHMANN, F. & B. van RAIJ, 1974. Influência do método de agitação na dispersão da argila do solo. *In: Congr. Bras. Ci. do Solo*, 14., Santa Maria, Anais, Santa Maria, p. 123-132.
- KOHNKE, H., 1968. **Soil physics**, Nova York, McGraw - Hill Book Company, 224 p.
- LEPSCH, I.F., D. BERTOLINI & R. BELLINAZZI JÚNIOR, 1983. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação**, Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 175 p.
- MARSHALL, T.J., 1959. The diffusion of gases through porous media. **J. Soil Sci.** **10**:79-82.
- OLIVEIRA, J.B., J.R.F. MENK, J.L. BARBIERI, C.L. ROTTA & W. TREMOCOLDI, 1982. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras**, Campinas, Instituto Agronômico, 180 p. (Boletim Técnico, 71).
- PENMAN, H.L., 1940. Gas and vapour movements in soils. I. The diffusion of vapour through porous solids. **J. Agric. Sci** **30**:437-462.
- PIERANTONI, H., 1971. Correlações entre argila e constantes hídricas em latossolo do sul do Mato Grosso. *In: Congr. Bras. Ci. do Solo*, 13, Vitória. Resumos. Vitória, p. 22.
- RANZANI, G., 1963. **Capacidade de água disponível do solo**, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz

- SCHROEDER, D., 1984. **Soils - facts and concepts**, Berna, Suíça, International Potash Institute, 140 p.
- SOWERS, G.F., 1965. Consistency. *In*: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**, Madison, American Society of Agronomy, p. 391-399. (Agronomy, 9).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos proprietários e empregados da Fazenda Sete Lagoas, Município de Moji Guaçu pelas facilidades oferecidas no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, assim como aos servidores da Seção de Pedologia, do Instituto Agronômico, Campinas, a saber: José da Silva Pinto (Auxiliar Agropecuário III), pelos serviços de campo, Célia Panzarin (Técnico de Laboratório), pelas análises físicas, Célia Beatriz Gonçalves, Ângelo Braz Brasil e Soraya Maria de Oliveira (Técnicos de Laboratório) pelas análises químicas e Eliana Aparecida dos Santos Valadares (Estagiária) pelos serviços datilográficos.