

VARIABILIDADE DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E FÍSICO-HÍDRICAS EM SOLO PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO DE SEROPÉDICA, RJ¹

JOSÉ RONALDO DE MACEDO², THEÓPHILO BENEDICTO OTONNI FILHO³ e NELI DO AMARAL MENEGUELLI²

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros fundamentais da distribuição das propriedades físicas (granulometria, densidade do solo, densidade de partículas e porcentagem de porosidade total), químicas (teores de matéria orgânica); e físico-hídricas (retenção de água e tensão hídrica), em solos Podzólicos Vermelho-Amarelos, com textura variando de areia franca a franco-areno-argilosa, no município de Seropédica, RJ. A variabilidade das características estudadas foi pesquisada segundo três níveis de análise (global, por perfil e por profundidade). Conclui-se que as características médias de densidades do solo e de partículas e porosidade total foram bem amostradas nos três níveis considerados; a granulometria e a matéria orgânica foram adequadamente amostradas na análise global, em toda a área de estudo, todavia, por perfil e por profundidade, no solo PVe3, o número de amostras foi insuficiente. A variabilidade dos dados de retenção de água cresceu com o aumento da tensão hídrica em todos os níveis de análise e cresceu, linearmente, com o aumento da distância de coleta dos pontos amostrais. Os solos arenosos apresentaram maior variabilidade, sugerindo uma amostragem mais densa quanto às características físicas, químicas e físico-hídricas do que os solos de textura mais argilosa. Os resultados demonstraram que essas propriedades foram muito bem amostradas e que a variabilidade da retenção de água foi positivamente relacionada ao nível de tensão de água.

Termos para indexação: água no solo, retenção de umidade, capacidade de campo.

VARIABILITY OF SOME PHYSICAL, CHEMICAL AND PHYSICO-HYDRICAL CHARACTERISTICS IN RED YELLOW PODZOLIC SOILS FROM SEROPÉDICA, RJ

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate fundamental parameters of the distribution of some physical (particle size, soil and particle densities and porosity percentage); chemical (organic carbon contents) and physico-hydric properties (water retention and hydric tension) in Red Yellow Podzolic soils, varying their texture from loamy sand to loamy sand clay, in Seropédica, Rio de Janeiro. The variability of some studied characteristics was evaluated according to three levels of analysis (global, by profile and by depth). It was concluded that: the average characteristics of the bulk and particle densities farther than the total porosity were sufficiently sampled in the three considered levels; the particle size and organic carbon were sufficiently sampled at the global analysis level in the whole studied surface, however for the profile analysis and the depth analysis in PVe3, the sample number was insufficient. Data variability of the water retention increased when the water tension level increased for all analysis levels and the variability increased linearly with the increase of the sampling distance of the points. The sandy soils showed higher variability than the other soils, suggesting denser sampling for the physical, chemical and physico-hydric characteristics than the other soils of clayey texture. The results showed that those properties studied were very well sampled and that the variability of the water retention was positively related to the level of the water tensions.

Index terms: soil physic, soil water, humidity retention, field capability.

¹ Aceito para publicação em 28 de abril de 1998.

Extraído da tese do primeiro autor apresentada à UFRRJ.

² Eng. Agr., M.Sc., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq), R. Jardim Botânico, 1.024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro, RJ. E-mail: jrmacedo@cnpq.embrapa.br

³ Eng. Civil, Ph.D., Prof. Adjunto, Dep. de Solos, UFRRJ, CEP 23851-000 Seropédica, RJ.

INTRODUÇÃO

Para um correto e efetivo manejo da água do solo, é de suma importância que se tenha uma visão integrada da dinâmica desta no sistema água-solo-planta-atmosfera. A compreensão do comportamento dinâmico da água requer conhecimentos das forças

matriciais, da distribuição da porosidade, da granulometria e do fluxo da água no solo. Além disso, as características hidrológicas dos solos podem variar de um ponto a outro numa mesma unidade pedológica em virtude, principalmente, dos diferentes processos de formação e desenvolvimento dos solos, do manejo e dos métodos de campo e de laboratório (Brakensiek et al., 1981). Essa variabilidade é inerente ao conceito de solo agrícola (Gurovich, 1982).

Os procedimentos de campo e de laboratório aplicados nas determinações das características hídricas, muitas vezes são tediosos, consumindo tempo e dinheiro. A viabilidade econômica dos esforços experimentais necessários para caracterizar adequadamente as propriedades hidrológicas dos terrenos deve ser considerada nesses casos (Arya & Paris, 1981; Rawls et al., 1982; De Jong et al., 1983). Dependendo da variabilidade das propriedades hídricas do solo, muitas vezes o custo da campanha experimental pode ser proibitivo.

Os cientistas de solos sabem que as características físicas de um solo variam entre pontos relativamente próximos de um mesmo campo, muitas vezes de forma significativa e sem causa visual global. Não é estranho encontrar diferenças no valor de um parâmetro de uma, duas ou três ordens de magnitude (10, 100 ou 1000 vezes diferentes) entre pontos separados de poucos metros num solo com a mesma unidade taxonômica, podendo essas diferenças explicar os diferentes rendimentos entre plantas. Em consequência dessas variações, o uso do valor médio é, às vezes, de pouca utilidade e pode conduzir a decisões de manejo de alto risco, principalmente no sistema solo-água-planta, e, até, ocasionar danos permanentes ao sistema e perdas econômicas (Gurovich, 1982).

A forma habitual de solucionar o problema da variabilidade tem sido aumentar o número de amostras tomadas em pontos, ao acaso, ou repetir os procedimentos de campo, de forma a expressar mais convenientemente a média dos valores nas parcelas experimentais ou amostras selecionadas. Se o desvio padrão for muito grande, isto é, se a variabilidade for muito acentuada, incrementa-se o número de amostras para que o valor médio reflita mais adequadamente o valor real (Gurovich, 1982).

O número necessário de amostras para representar uma característica do solo é calculado, normalmente, a partir das suposições de que as amostras são independentes e de que o número de amostras é grande o suficiente para se aplicar o teorema do limite central, ou então, assume-se que a variável amostrada é normalmente distribuída. Neste caso, o número de amostras (N) necessário para se estar dentro de " d " unidades da média, com $(1 - \alpha).100\%$ de certeza é:

$$N = X_{dn}^2(\sigma^2)/d^2$$

onde:

X_{dn} é o desvio normalizado;

σ é o desvio padrão da variável;

α é o nível de significância.

O valor X_{dn} é tabelado, sendo o valor da variável X normalizado segundo o teste t de Student, tal que $P[X < X_{dn}] = \alpha$. Desta forma, X_{dn} só depende de α .

Se as suposições forem válidas, o número calculado de amostras permitirá a obtenção de uma média amostral que deverá estar afastada, no máximo, " d " unidades da média verdadeira da distribuição. O desvio padrão (σ) refletirá a dispersão da variável no campo.

Como os graus de variabilidade são dependentes das propriedades particulares que estão sendo examinadas, Warrick & Nielsen (1980) agruparam diferentes parâmetros de solo em função dos seus respectivos coeficientes de variação (C.V.). Esse agrupamento foi dividido em três níveis: parâmetros com baixos, médios e altos coeficientes de variação. Entre os de baixa variação ficaram, a princípio, as densidades do solo e o conteúdo de umidade volumétrica na saturação (C.V. < 11%); os de média variação englobaram as percentagens de textura e os conteúdos de umidade volumétrica entre 0,1 e 15,0 bar (C.V. de 12 a 62%) e, finalmente, os de alta variação, que incluíram as condutividades hidráulicas saturadas e insaturadas (C.V. de até 420%).

Albrecht et al. (1985), trabalhando com solos da planície costeira da Virgínia (EUA), observaram que os modelos da curva de retenção de umidade (C.R.U.) até a tensão de 1,0 bar, em horizontes A e E, pareceram similares, indicando uma tendência geral de aumento da variância com o aumento da distância de separação de coleta das amostras, ficando constata-

do, também, que a variação entre as repetições foi pequena. Tais resultados foram significativos a 0,001% de probabilidade. Esse fato, segundo os autores, indicou que as amostragens de solo deveriam ser feitas, inicialmente, para grandes áreas, a seguir, subáreas e, por último, como repetições. Tais observações concordaram com as de Gurovich (1982).

Os C.V. obtidos por Albrecht et al. (1985) foram relativamente baixos para todas as C.R.U., que variaram de 3,1 a 15,4% e de 1,0 a 6,5% nos horizontes A e E, respectivamente. Essa observação não se enquadrava na classificação de Warrick & Nielsen (1980), na qual a umidade seria uma propriedade de média variação. No trabalho de Cameron (1978), os C.V. da umidade volumétrica nas pressões de 0 a 500 cm de H₂O, nas profundidades de 0-15 e 30-50 cm, variaram de 4,2 a 13,0%, e tenderam a ser maiores do que aqueles obtidos abaixo da profundidade de 60 cm (2,4 a 6,5%).

Com relação à tendência de diminuição dos C.V. das umidades com as profundidades, os resultados obtidos por Nielsen et al. (1973) e Carvalho et al. (1978), citados por Cameron (1978), demonstraram tendências opostas, pois a variabilidade nesses estudos, tendeu a crescer com a profundidade. Os C.V. calculados por Carvalho (1978) em um solo franco-arenoso, variaram de 3,8 a 8,4% nas camadas superficiais e de 6,8 a 39,0% nas mais profundas. Já aqueles obtidos por Nielsen et al. (1973), num solo franco-argilo-siltoso, variaram de 10,2 a 17,0% próximo à superfície do solo e de 8,9 a 31,3% nas profundidades maiores. Cameron (1978) não encontrou justificativas para essas diferenças de maior ou menor variabilidade da umidade com a profundidade.

Ainda Cameron (1978), examinando a variabilidade das C.R.U. obtidas de amostras indeformadas em cinco diferentes parcelas dentro de uma pequena área experimental, observou que as curvas médias nas mesmas profundidades de cada um dos cinco lugares foram variáveis. Cada parcela tendeu a ter sua única curva média característica diferente das demais. No estudo, as curvas de desorção superficiais foram de maior amplitude de variação do que as das camadas inferiores, indicando um reflexo do maior conteúdo de argila das profundidades maiores.

Babaloa (1977), trabalhando com solos tropicais da Nigéria, obteve C.V. de 3,2 a 20,5% na fração areia,

de 16,5 a 28,5% na fração silte, de 34,0 a 46,6% na fração argila e de 2,3 a 4,5% na densidade do solo, em função das respectivas profundidades de amostragem e dos solos individuais. Já os C.V. considerando todos os solos e profundidades foram de 21,0; 28,0 e 64,0% em areia, silte e argila, respectivamente. Ainda de acordo com Babaloa (1977), as percentagens de areia, silte, argila e cascalho e a densidade do solo seguiram a função de distribuição de frequência normal. A variabilidade do tamanho das partículas, agora considerando todos os dados dentro de cada parcela, foi geralmente alta, com os C.V. variando de 20,2 a 40,6% na argila e de 17,1 a 40,3% na areia e no silte. No entanto, os C.V. encontrados em relação à umidade do solo cresceram com a diminuição do potencial matricial. Tal resultado pode ser atribuído ao aumento da variabilidade da geometria dos vazios mais finos que ainda retêm água nas tensões mais elevadas.

Cassel & Bauer (1975), citados por Gurovich (1982), estudaram a variabilidade da densidade do solo e da retenção de água pelo solo com o potencial matricial de 15,0 bar, em profundidades maiores que as de cultivo. Consideraram que o número de amostras necessário para avaliar corretamente esses parâmetros (dentro de limites de confiança estabelecidos) era tão alto, que seria pouco prático buscar um valor médio.

Libardi et al. (1986), estudaram a variabilidade das características físicas do solo Terra Roxa Estruturada, como umidade gravimétrica, densidade de partículas e percentagens de argila, areia e silte. Verificaram que todas as variáveis eram normalmente distribuídas e que, apesar de a textura ser geralmente considerada como uma característica de média variação, os valores encontrados para os desvios padrões e coeficientes de variação foram bem pequenos, particularmente em relação à argila e à areia, podendo ser comparados àquelas características de baixa variação.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os parâmetros fundamentais da distribuição de propriedades físicas, químicas e físico-hídricas em quatro solos Podzólicos de texturas variáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em solo Podzólico Vermelho-Amarelo com argila de atividade baixa, no município de

Seropédica, Rio de Janeiro, onde as amostras foram coletadas por unidade de solo, em quatro trincheiras de 0,40 x 0,40 x 0,60 m, localizadas nos vértices de um quadrado de 15,0 metros de lado. As profundidades de amostragem foram 0-15, 15-30 e 30-50 cm, de forma que fossem representativas de todo o intervalo, considerando-se, ainda, o tipo de estrutura deformada e indeformada. As amostras deformadas visaram a obtenção dos dados de textura, densidade de partículas e matéria orgânica. A densidade do solo e as características de retenção de água foram obtidas a partir das amostras indeformadas. Próximo a cada trincheira, foi feita a descrição completa do perfil (Macedo, 1991). Esses solos foram classificados como Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico (PVD5), Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PVE3), Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PVE1) e Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico (PVE6). Ao todo, foram coletadas 48 amostras, porém, três foram perdidas durante a análise no laboratório.

No campo, as amostras foram embaladas e convenientemente identificadas em função do solo, posição e profundidade de coleta. No laboratório, as amostras deformadas foram secas ao ar por 24 horas, destorroadas com rolo de madeira e passadas em malha de 2,0 mm de diâmetro, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). As indeformadas, coletadas com amostradores de volume médio total de 326,92 cm³ (coletor de Uhland), cujo anel foi subdividido em dois de mesmo diâmetro, mas com alturas diferentes, tendo a menor delas aproximadamente 20 mm de altura e volume médio de 101,78 cm³ e a maior 55 mm e 225,14 cm³. A densidade do solo foi mensurada a partir do anel de maior altura e a curva característica de retenção de umidade e a microporosidade, a partir do menor.

As propriedades pesquisadas foram as percentagens de areias fina e grossa, silte, argila, matéria orgânica, porosidades macro, micro e total, densidades do solo e de partículas, a capacidade de campo em laboratório e no campo e a disponibilidade de água no solo. Os valores de umidade foram obtidos por meio das tensões de 0,06, 0,10, 0,33, 1,0, 5,0 e 15,0 bar. As análises de solo foram feitas no Laboratório de Solos do CNPS e da UFRRJ, utilizando-se os métodos descritos no Manual de Métodos de Análises de Solo (Embrapa, 1979).

A análise granulométrica foi feita tomando-se 20 g de TFSA. Após o tamisamento úmido em peneiras de malha de 0,2 e 0,53 mm, determinaram-se as areias grossa e fina, respectivamente. A percentagem de argila total foi separada pelo método Internacional Modificado da Pipeta, segundo Embrapa (1979), utilizando-se hidróxido de sódio 0,1 N e agitador elétrico "stirrer" de alta rotação como

agentes dispersantes. O teor de silte foi obtido por diferença.

O carbono orgânico foi determinado pelo método volumétrico do bicromato de potássio com titulação pelo sulfato ferroso (Embrapa, 1979), que multiplicado pelo fator 1,724, forneceu a percentagem de matéria orgânica.

Para determinar a microporosidade, utilizou-se o Método da Mesa de Tensão (Embrapa, 1979), com sucção correspondente a uma coluna de água de 60 cm de altura (pressão correspondente a cerca de 0,06 bar). Aproximadamente, de 6 em 6 horas, os cilindros foram retirados da mesa de tensão e pesados até a obtenção de peso constante. Após essa etapa, as amostras foram secadas em estufa por mais 24 horas a 105°C e pesadas novamente.

A microporosidade foi finalmente encontrada aplicando-se a fórmula:

% microporosidade = $100 \cdot (P.A. - P.A. \text{ seca}) / V. \text{ anel}$,
onde:

P.A. é o peso da amostra em gramas a 60 cm de tensão;
V. é o volume do anel em cm³.

A porosidade total (n) foi determinada a partir dos resultados das densidades do solo (Ds) e de partículas (Dp), por meio da fórmula:

$n = [(1 - Ds) / Dp] \cdot 100$,

e a macroporosidade por diferença.

A densidade do solo foi calculada a partir do solo seco a 105°C por 24 horas, contido num cilindro de amostrador de volume conhecido e a de partículas, a partir de 20 g de TFSA, pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1979).

Para encontrar a capacidade de campo, foi usado o Método Direto (Oliveira & Melo, 1971). Junto a cada trincheira de amostragem de solo foram delimitadas áreas quadradas (1,0 m x 1,0 m) de inundação, perfazendo um total de 16 experimentos de capacidade de campo. A lâmina de inundação foi suficiente para saturar o perfil de 50 cm de profundidade. A umidade começou a ser monitorada nas três profundidades, três horas após a água ter se infiltrado totalmente. As medições repetiram-se de 24 em 24 horas, até ser verificada a estabilização da curva de drenagem no perfil, ou seja, quando a umidade praticamente não mudou entre duas amostragens sucessivas. As determinações de umidade foram feitas pelo método gravimétrico, a partir de amostras de solo coletadas com um trado do tipo "holandês", distantes no mínimo 20 cm da borda da área de inundação. As umidades volumétricas foram obtidas multiplicando-se as umidades gravimétricas pela densidade do solo conhecida.

A variabilidade dos parâmetros físicos, químicos e físico-hídricos foi avaliada em três níveis de análise: global (em toda a área de estudo), considerando-se os quatro solos, quatro locais e em três profundidades, totalizando

45 dados; por perfil, levando-se em conta apenas um solo em três profundidades (12 dados); e por profundidade na parcela experimental (4 dados). A partir desse levantamento, foram obtidas as médias, os desvios padrões e os coeficientes de variação das distribuições, nos três níveis considerados. Além disso, calculou-se o número de amostras (N) necessário para determinar a média das propriedades estudadas, admitindo-se um erro máximo de 15% ($d = 0,15\%$) e um nível de significância de 10% ($X_{dn} = 1,645$). Um outro critério adotado foi calcular os erros máximos esperados de estimativa da média (P), a partir do número de amostras particularmente coletado no experimento, nos três níveis de análise.

Os valores de N e P foram encontrados por meio das fórmulas:

$$N = 2,706 (\sigma^2) / (0,15 \mu)^2$$

$$\%P = 1,645 (C.V.) / N^{1/2}$$

Em que σ , μ , C.V. e N representam o desvio padrão, a média, o coeficiente de variação e o número de amostras do esquema experimental, segundo o nível de análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Fig. 1, que refere-se aos dados físicos e químicos tratados globalmente (45 dados), observa-se que as propriedades físicas foram bem amostradas pois necessitaram de um número pequeno de amostras (1 a 11); um pouco mais para a matéria orgânica (27) e para a argila (36 amostras).

As propriedades constantes da Tabela 1 podem ser consideradas em dois grupos. O primeiro, reunindo as densidades do solo e de partículas, porosidade total, areia e areia grossa, que apresentaram C.V. abaixo de 30%. Observou-se também que a maior porcentagem de erro máximo calculado (7,26)

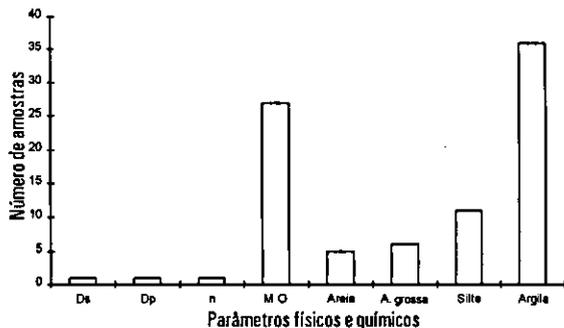


FIG. 1. Número de amostras necessárias para estimar os parâmetros físicos e químicos da análise global, na camada de 0-50 cm.

ocorreu com o silte, o que se expressa no baixo número de amostras necessário para se calcular estimativas com a acurácia preestabelecida. Os C.V. encontrados quanto à densidade do solo estão em consonância com os obtidos por Warrick & Nielsen (1980) e Libardi et al. (1986), que verificaram valores menores do que 10%. O segundo grupo, agregando a argila e a matéria orgânica, cujos C.V. foram mais altos, 54,48% e 47,17%, respectivamente. A matéria orgânica, na análise global, foi a característica que apresentou o segundo maior C.V., logo abaixo da argila (Tabela 1). Mesmo assim, a amostragem foi considerada satisfatória, já que o erro máximo foi de 11,57 e 13,36 respectivamente.

Considerando-se as análises por profundidade e por perfil, verificou-se que as densidades de partículas e do solo foram bem amostradas, sendo preciso somente uma amostra, enquanto a porosidade total, que foi mais variável, necessitou de uma a três amostras (Figs. 2, 3, 4 e 5). Neste último caso, o C.V. foi alto no solo PVe6 (17,04%), na profundidade de 30-50 cm (Tabela 1), o que talvez possa ser explicado pela existência de uma linha de seixos rolados, indicativo de uma descontinuidade litológica.

Quanto à granulometria da área, a análise conjunta dos quatro perfis na profundidade de 0-50 cm (45 dados) na areia, areia grossa, silte e argila mostrou que o número de amostras necessário para estimar a média dessas características, nos níveis preestabelecidos, variou de 5; 6; 11 e 36 amostras, respectivamente (Fig. 1). Os C.V. também seguiram a mesma ordem: 19,91; 22,65; 29,61 e 54,48% (Tabela 1). Logo, o total de amostras coletado no experimento foi satisfatório.

Com relação às análises por perfil e por profundidade, foram verificadas as seguintes tendências: (1) O número de amostras necessário para amostrar devidamente um perfil, e daí a variabilidade, tendeu a diminuir em relação ao número N para amostrar toda a área. A exceção ocorreu com a variável argila, no solo PVe3, onde esse número aumentou, significativamente, de 36 para 89 (Fig. 2). Tal fato pode ter sido causado pelo baixíssimo conteúdo de argila nesse perfil, em que pequenas alterações geraram altos C.V. (Tabela 1), ou então, pela mudança textural abrupta ocorrida nos horizontes A e B, na profundidade de 30-50 cm. Nesse caso, o esquema experimental de-

monstrou não ser adequado para descrever o valor médio da argila ao longo de todo o perfil; (2) De maneira geral, a menor variabilidade correspondeu às frações areia, areia grossa, silte e argila. Esta última apresentou variabilidade ligeiramente menor do que a do silte, no solo PVe6 (Tabela 1); (3) Nos três níveis de análise, os C.V. referentes aos dados de textura situaram-se entre 5,52 e 96,50%, mais comumente entre 10 e 30% (Tabela 1). Por perfil (0 - 50 cm), esses coeficientes variaram entre 6,87 e

TABELA 1. Média e coeficiente de variação das características físicas e químicas¹.

Nível de análise	Prof. (cm)	Estatísticas	Ds ---- (g cm ⁻³) ----	Dp	n (%)	M.O. ----- (g kg ⁻¹)	Areia	A.G.	Silte	Argila
Média dos solos										
Global	0-50	μ	1,69	2,65	36	2,12	68	45	9	23
		C.V. %	6,51	2,26	10,74	47,17	19,91	22,65	29,61	54,48
Solo PVe6										
Por profundidade	0-15	μ	1,63	2,60	37	3,25	65	46	13	22
		C.V. %	5,62	2,69	9,57	15,08	3,42	2,80	27,62	20,68
	15-30	μ	1,66	2,58	36	2,77	62	43	10	28
		C.V. %	4,82	3,10	12,84	10,47	9,40	12,14	25,0	17,36
30-50	μ	1,57	2,66	41	2,35	57	40	8	35	
	C.V. %	8,92	3,38	17,04	13,62	16,21	13,90	12,00	27,34	
Por perfil	0-50	μ	1,62	2,61	38	2,83	63	44	10	27
		C.V. %	6,17	3,07	13,07	18,02	9,35	10,18	30,60	26,84
Solo PVe1										
Por profundidade	0-15	μ	1,76	2,64	33	3,09	71	45	10	20
		C.V. %	4,54	0,19	9,88	12,94	6,13	13,73	20,60	29,60
	15-30	μ	1,71	2,68	36	1,72	60	38	7	33
		C.V. %	1,75	1,49	4,53	13,95	11,55	9,45	13,71	23,64
30-50	μ	1,68	2,64	36	1,49	51	32	8	41	
	C.V. %	5,92	3,03	12,13	7,38	12,12	14,66	12,50	14,56	
Por perfil	0-50	μ	1,72	2,65	35	2,10	61	38	8	31
		C.V. %	4,65	1,89	9,51	37,14	16,66	18,44	19,76	35,29
Solo PVe3										
Por profundidade	0-15	μ	1,71	2,71	37	1,06	86	58	7	7
		C.V. %	3,51	1,48	5,28	26,42	10,49	13,60	42,0	105,5
	15-30	μ	1,73	26,8	35	0,83	90	61	5	5
		C.V. %	6,94	0,75	11,27	60,24	3,01	2,31	34,20	34,20
30-50	μ	1,83	2,72	33	0,56	88	57	8,0	4	
	C.V. %	3,28	1,84	2,64	97,5	5,52	8,65	16,13	96,5	
Por perfil	0-50	μ	1,75	2,71	35	0,80	88	59	6	6
		C.V. %	5,14	1,48	8,40	57,5	6,87	8,87	31,10	85,77
Solo PVd5										
Por profundidade	0-15	μ	1,62	2,64	37	3,18	63	40	9	28
		C.V. %	9,88	1,52	15,13	7,23	10,76	8,75	11,11	23,04
	15-30	μ	1,67	2,63	37	2,60	62	38	9	29
		C.V. %	5,99	0,19	10,73	19,62	11,26	10,84	19,00	24,10
30-50	μ	1,60	2,68	40	2,21	58	36	8	34	
	C.V. %	6,25	1,86	7,02	35,75	10,44	13,80	6,25	17,38	
Por perfil	0-50	μ	1,64	2,65	38	2,74	62	38	9	29
		C.V. %	6,71	1,52	10,54	22,63	9,72	10,66	13,69	20,33

¹ Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; n: porosidade total; M.O.: matéria orgânica; μ: média; C.V.: coeficiente de variação.

16,66%; 8,87 e 18,44%; 13,69 e 31,10% e 20,33 e 35,29% nas frações areia, areia grossa, silte e argila, respectivamente, exceção do solo PVe3 com 85,77% na fração argila (Tabela 1). As magnitudes dos valores obtidos para os C.V. foram semelhantes aos obtidos por Babaloea (1977). Os C.V. próximos dos 30% confirmaram que as propriedades físicas estudadas poderiam ser consideradas como de média variação, concordando com os resultados de Warrick & Nielsen (1980).

Ainda com relação à análise da profundidade em cada perfil (4 dados), observou-se que se mantêm as mesmas tendências obtidas na análise dos quatro perfis completos (Tabela 1), inclusive a taxa de incremento da variabilidade no solo PVe3 na fração argila.

Notou-se que as frações areia e areia grossa foram sempre bem amostradas, em todos os solos e camadas consideradas, o que não pode ser estendido às frações mais finas (Figs. 1, 2, 3, 4 e 5). Observou-se, ainda, que a variabilidade cresceu com o aumento da distância dos pontos amostrais (Tabela 1), estando em concordância com Albrecht et al. (1985).

Realizando a análise para obtenção dos valores de matéria orgânica quanto ao perfil e profundidade, verifica-se que em relação ao solo PVe3, o número de amostras coletado (12 e 4) foi sempre menor do que o necessário (Fig. 2). Tal fato deveu-se, em grande parte, aos diminutos teores de matéria orgânica no perfil (<1%).

No solo PVe1, o esquema experimental com respeito à matéria orgânica foi ineficiente quanto ao perfil (12 dados), pois foram coletadas 12 amostras quando seriam necessárias 17 (Fig. 3). Já no PVe6, esse número foi satisfatório (Fig. 4) e no PVd5, a amostragem falhou apenas na profundidade de 30 a 50, cujos teores de matéria orgânica foram mais baixos (Fig. 5).

Em termos de acurácia e confiabilidade quanto ao número de amostras coletadas, notou-se que os teores de matéria orgânica não seguiram um padrão definido na parcela experimental. Em contrapartida, comparando-se os C.V. em nível global, com os respectivos por solo e por profundidade (Tabela 1), observa-se que, à exceção do solo PVe3, esses coeficientes também diminuíram com o detalhamento da amostragem, e portanto, com a proximidade dos pon-

tos amostrais. Os C.V. da matéria orgânica variaram de 7,23% a 97,50%, porém situaram-se normalmente entre 10 e 30%.

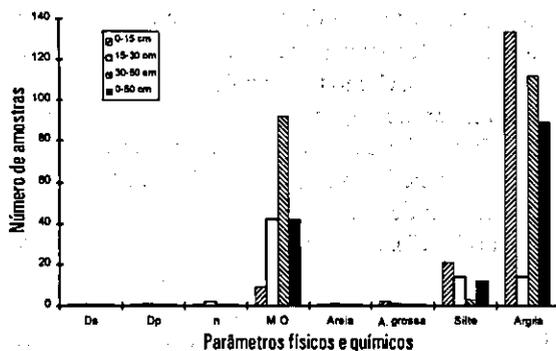


FIG. 2. Número de amostras necessárias para estimar os parâmetros físicos e químicos do solo PVe3.

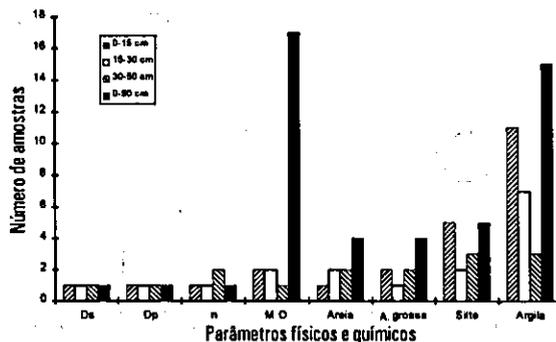


FIG. 3. Número de amostras necessárias para estimar os parâmetros físicos e químicos do solo PVe1.

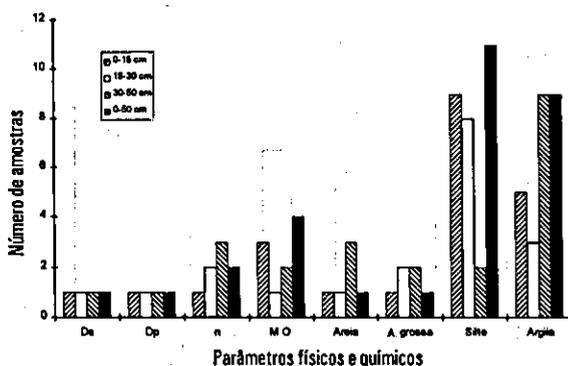


FIG. 4. Número de amostras necessárias para estimar os parâmetros físicos e químicos do solo PVe6.

De acordo com a Fig. 6, que mostra os dados físico-hídricos tratados também globalmente (45 dados), observa-se que, tanto a capacidade de campo (C_c *in situ*), quanto as tensões de umidade, cresceram com o aumento da tensão de água e que o número de amostras tende a aumentar linearmente até o máximo de 36 amostras. Como foram coletadas 45, em toda a área do experimento, pode-se afirmar que as propriedades físico-hídricas foram bem estimadas. Tal fato deve-se aos médios valores de C.V. obtidos em C_c , que variaram de 33,93% a até 54,80% na tensão de 15 bar (Tabela 2), concordando com Warrick & Nielsen (1980).

É importante ressaltar que o aumento do C.V. (Tabela 2) e do número de amostras (Fig. 6) tenderam a aumentar com o incremento do nível de tensão de água, o que se deve não somente à variabilidade intrínseca da característica de cada solo, mas também à redução expressiva dos valores numéricos da

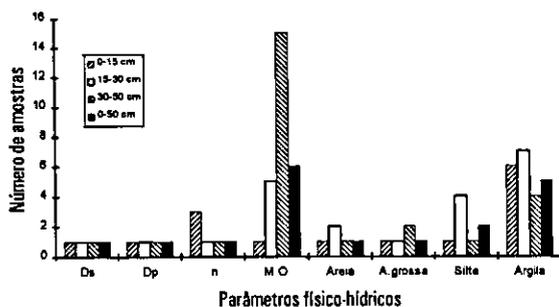


FIG. 5. Número de amostras necessárias para estimar os parâmetros físicos e químicos do solo PVD5.

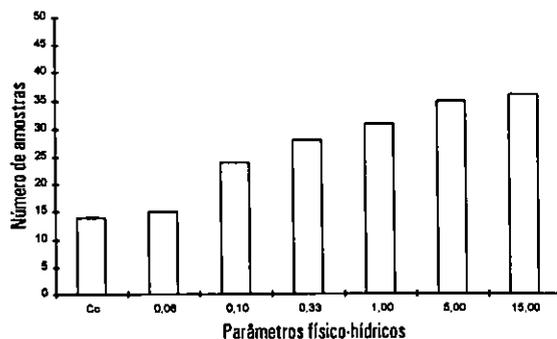


FIG. 6. Número de amostras necessário para estimar os parâmetros físico-hídricos a nível global, na camada de 0-50 cm.

característica. No caso, os valores médios decresceram de 27 g kg^{-1} a $11,7 \text{ g kg}^{-1}$ nas tensões de 0,06 a 15,0 bar, respectivamente, em que uma diferença de quatro unidades, por exemplo, poderá ter repercussões diferenciadas em termos de ordem de grandeza. Ainda com relação à Fig. 6, verifica-se que os dados de C_c foram bem amostrados, já que o número de amostras coletadas (45) foi três vezes maior do que o necessário (14).

Nas Figs. 7, 8, 9 e 10, que referem-se aos dados de perfil e de profundidade, é possível identificar que, em geral, nos quatro solos (PVe3, PVe1, PVe6 e PVD5) a C_c foi bem amostrada, pois o número máximo de amostras necessário foi de quatro, tanto por perfil, como por profundidade. Esse fato pode ser confirmado na Tabela 2, onde os C.V. mantiveram-se entre 6,20% e 28,67%. A exceção ocorreu com o solo PVe3 nas profundidades de 15-30 cm e 30-50 cm, ou seja, foram coletadas quatro amostras por profundidade quando se precisaria de cinco e dez amostras, respectivamente (Fig. 7). Observando-se os dados de C.V. (Tabela 2), verificou-se que os valores foram mais altos (20,73% e 28,67%), indicando a necessidade de se coletar um maior número de amostras.

O grau de dificuldade em se determinar, mais precisamente, a C_c no solo PVe3, possivelmente deveu-se à pequena magnitude dessa grandeza, que em média ficou em torno de $10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto nos outros solos os valores médios variaram entre 22 e $32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, respectivamente (Tabela 2).

Quanto à variabilidade dos dados de retenção de umidade no solo às diversas tensões (Figs. 6 e 7), observou-se que, em geral, o número de amostras necessário para caracterizar adequadamente a umidade cresceu com o aumento da tensão de água, confirmando os resultados obtidos por Babalola (1977).

Notou-se que os C.V. cresceram na seguinte ordem dos solos: PVe6, PVD5, PVe1 e PVe3 (Tabela 2), bem como o número de amostras suficientes para caracterizar a C_c e os teores de umidade retidos a várias tensões.

Ainda na Tabela 2, observa-se que os C.V. do solo PVe6 variaram de acordo com as tensões de 3,53% a 16,32%; os referentes ao PVD5, de 5,05% a 25,40%, e os do PVe1 de 6,17% a 27,54%. No solo PVe3, a faixa do C.V. variou de 17,86% a 12,70%. Neste solo, os

dados de retenção de umidade, a partir da tensão de 0,10 bar, foram os de mais alta variabilidade. Por isso, admite-se problemas mais sérios para se determinar acuradamente suas médias. Em parte, isto pode ter sido causado pelos diminutos valores de umidade

nas altas tensões. A amostragem para este solo quase sempre revelou-se inadequada em termos de número mínimo necessário de amostras.

No solo PVe3 (Fig. 7), percebe-se que o número de amostras necessário para avaliar corretamente a

TABELA 2. Média e coeficiente de variação das características físico-hídricas estudadas¹.

Nível de análise	Prof. (cm)	Estatísticas	Cc (cm ³ .cm ⁻³)	----- (bar) -----					
				0,06	0/10	1/3	1,0	5,0	15,0
Média dos solos									
Global	0-50	μ	23,9	27,0	17,1	15,3	13,8	12,0	11,7
		C.V. %	33,93	34,73	44,54	48,17	50,76	54,32	54,80
Solo PVe6									
Por profundidade	0-15	μ	26,7	30,3	26,3	24,4	21,7	19,2	18,3
		C.V. %	6,20	3,53	10,84	9,39	7,51	6,51	6,56
	15-30	μ	28,3	31,4	26,4	24,4	22,0	19,3	18,6
		C.V. %	6,57	7,23	13,11	11,97	10,50	7,93	8,98
30-50	μ	30,1	31,5	27,9	25,8	23,8	21,6	20,9	
	C.V. %	6,94	10,83	6,31	11,09	14,08	16,16	16,32	
Por perfil	0-50	μ	28,3	31,0	26,8	24,8	22,4	19,9	19,1
		C.V. %	6,32	6,87	10,02	10,04	10,51	11,02	11,63
Solo PVe1									
Por profundidade	0-15	μ	22,0	27,2	13,6	11,7	10,8	9,7	9,5
		C.V. %	9,00	10,96	8,97	11,28	10,74	11,13	11,05
	15-30	μ	25,7	30,8	16,9	15,2	14,4	12,9	12,7
		C.V. %	8,33	21,30	20,24	23,22	24,86	25,74	26,14
30-50	μ	32,0	38,4	18,7	17,1	16,3	14,9	14,8	
	C.V. %	6,41	6,17	14,71	17,72	17,61	21,68	22,16	
Por perfil	0-50	μ	26,6	32,1	16,4	14,7	13,8	12,5	12,3
		C.V. %	17,66	19,55	19,86	23,42	24,76	26,82	27,54
Solo PVe3									
Por profundidade	0-15	μ	9,9	13,9	9,0	7,6	6,0	4,5	4,2
		C.V. %	16,36	40,00	74,44	76,05	82,50	91,33	100,00
	15-30	μ	10,9	12,6	6,9	5,8	4,4	3,0	2,7
		C.V. %	20,73	17,86	61,74	62,76	63,41	77,33	85,93
30-50	μ	11,3	10,8	6,5	4,8	3,3	2,1	1,8	
	C.V. %	28,67	23,52	52,00	67,08	83,03	106,70	121,70	
Por perfil	0-50	μ	10,7	12,2	7,3	5,9	4,5	3,0	2,8
		C.V. %	21,29	27,52	59,64	65,82	73,48	90,13	98,92
Solo PVd5									
Por profundidade	0-15	μ	30,9	33,9	19,6	17,4	15,8	13,7	13,5
		C.V. %	17,64	11,42	20,51	21,61	24,75	25,40	25,33
	15-30	μ	29,1	31,0	17,0	14,8	13,5	12,3	11,9
		C.V. %	12,16	13,16	13,88	15,41	16,81	17,72	16,89
30-50	μ	28,8	30,9	17,7	15,2	13,6	12,0	11,7	
	C.V. %	11,94	5,05	10,79	10,07	10,59	12,17	12,82	
Por perfil	0-50	μ	29,6	32,0	18,1	15,8	14,4	12,7	12,4
		C.V. %	13,97	10,90	16,26	17,55	19,51	19,42	19,50

¹ μ: média; C.V.: coeficiente de variação; Cc: capacidade de campo *in situ*.

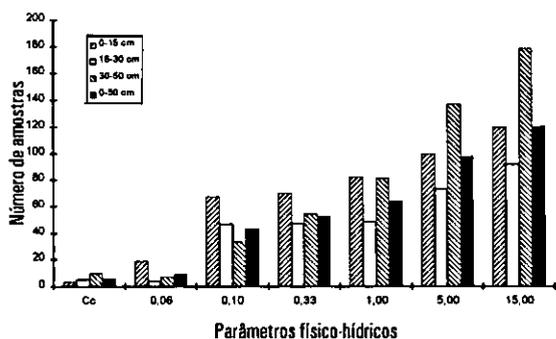


FIG. 7. Número de amostras necessário para estimar os parâmetros físico-hídricos do solo PVe3.

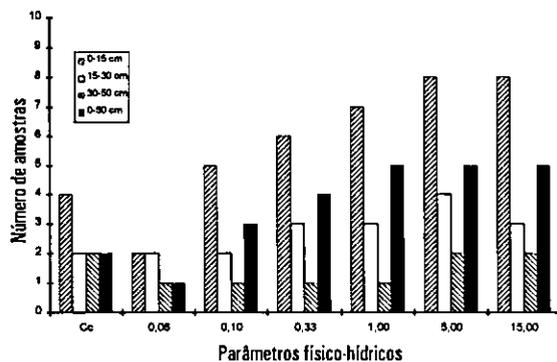


FIG. 10. Número de amostras necessário para estimar os parâmetros físico-hídricos do solo PVd5.

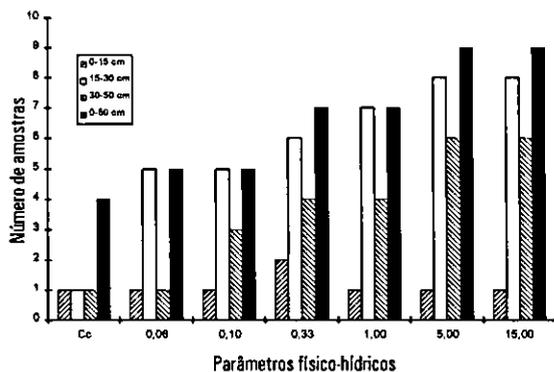


FIG. 8. Número de amostras necessário para estimar os parâmetros físico-hídricos do solo PVe1.

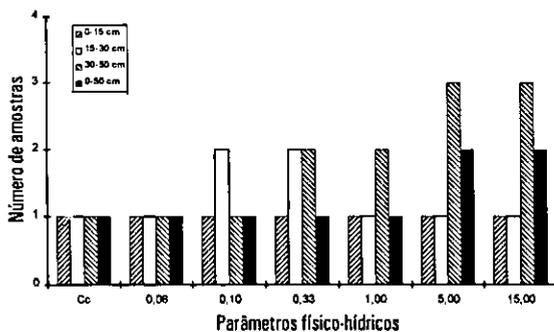


FIG. 9. Número de amostras necessário para estimar os parâmetros físico-hídricos do solo PVe6.

retenção de umidade foi muito grande para tornar viável, em termos práticos e econômicos, a obtenção de um valor médio representativo. Já o solo PVe6 (Fig. 9) revelou-se sempre bem amostrado aos níveis de análise por perfil e por profundidade. Entretanto, os solos PVe1 e PVd5 foram bem amostrados quanto ao perfil, mas não quanto à profundidade (Figs. 8 e 10).

Cameron (1978) observou que os C.V. de umidade diminuíram com a profundidade. Já Nielsen et al. (1973) e Carvalho et al. (1976), ambos citados por Cameron (1978), obtiveram resultados contrários. Em relação ao presente trabalho, os resultados não demonstraram nenhuma tendência sistemática por perfil (Tabela 2).

CONCLUSÕES

1. As características físicas de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total possuem baixa variabilidade e estão bem amostradas dentro dos níveis preestabelecidos.
2. A granulometria e a matéria orgânica estão, também, adequadamente amostradas na análise global.
3. Os solos arenosos apresentam maior variabilidade, necessitando de amostragem mais densa em relação às características físicas, químicas e físico-hídricas do que os solos de textura média/argilosa.
4. Os coeficientes de variação obtidos quanto à granulometria e teores de matéria orgânica confir-

mam a classificação dada por Warrick & Nielsen (1980), de que essas propriedades são de média variação.

5. As determinações das umidades na Cc *in situ* apresentam baixa variabilidade e estão acuradamente amostradas, independentemente da sua posição na área experimental.

6. A variabilidade dos dados de retenção de água cresce com o nível de tensão hídrica em todos os níveis de análise.

7. Em geral, a variabilidade cresce com o aumento da distância de coleta dos pontos amostrais.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, e ao Pesquisador José Lopes de Paula (Chefe do Laboratório de Física de Solos), pelas determinações da umidade dos solos sob diferentes tensões.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, K.A.; LOGSDON, S.D.; PARKER, J.C.; BACHER, J.C. Spatial variability of hydraulic properties in the Emporia Series. *Soil Science Society of America. Journal*, v.49, n.6, p.1498-1502, 1985.
- ARYA, L.M.; PARIS, J.F. A physico-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America. Journal*, v.45, n.6, p.1023-1030, 1981.
- BABALOA, O. Spatial variability of soil water properties in tropical soil of Nigeria. *Soil Science*, v.126, n.5, p.269-279, 1977.
- BRAKENSIEK, D.L.; ENGLEMAN, R.L.; RAWLS, W.J. Variation within texture classes of soil water parameters. *Transactions of the ASAE*, v.24, n.2, p.335-339, 1981.
- CAMERON, D.R. Variability of soil water retention curves and predicted hydraulic conductivities on a small plot. *Soil Science*, v.126, n.6, p.364-371, 1978.
- DE JONG, R.; CAMPBELL, C.A.; NICHOLAICHUK, W. Water retention equations and their relationships to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. *Canadian Journal of Soil Science*, v.63, n.2, p.291-302, 1983.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, 1979. 1v.
- GUROVICH, L.A. Field spatial variability structure of soil hydrodynamic properties. *Ciencia e Investigacion Agraria*, v.9, n.3, p.243-254, 1982.
- LIBARDI, P.L.; PREVEDELLO, C.L.; PAULETTO, E.A.; MORAES, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.10, n.2, p.85-90, 1986.
- MACEDO, J.R. *Determinação de retenção hídrica por correlação múltipla e de variabilidade espacial em solos Podzólicos de Seropédica/RJ*. Seropédica: UFRRJ, 1991. 175p. Tese de Mestrado.
- OLIVEIRA, L.B.; MELO, V. Estudo da disponibilidade de água em um solo da estação experimental de Itapirema, Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronomia*, Rio de Janeiro, v.6, p.31-37, 1971.
- RAWLS, W.J.; BRAKENSIEK, D.L.; SAXTON, K.E. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.25, n.5, p.1316-1320, 1982.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.