

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Manual de Métodos de Análise de Solo

3ª edição revista e ampliada

*Paulo César Teixeira
Guilherme Kangussu Donagemma
Ademir Fontana
Wenceslau Geraldes Teixeira*
Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2017

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024. Jardim Botânico

CEP: 22460-000 - Rio de Janeiro, RJ

Fone: + 55 (21) 2179-4500

Fax: + 55 (21) 2179-5291

<https://www.embrapa.br>

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Solos

Comitê de Publicações da Embrapa Solos

Presidente: *José Carlos Polidoro*

Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de C. de Moraes,*

Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço Silva, Evaldo de

Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de

Araujo, Maria Regina Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de

Almeida Batista, Wenceslau Gerales Teixeira

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Capa: *Eduardo Guedes de Godoy*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes e*

Marcos Antônio Nakayama

3ª edição

Publicação digitalizada (2017)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017.

573 p. : il. color.

ISBN 978-85-7035-771-7

1. Análise do solo. 2. Física do solo. 3. Química do solo. 4. Matéria orgânica. 5. Mineralogia. I. Teixeira, Paulo César. II. Donagemma, Guilherme Kangussu. III. Fontana, Ademir. IV. Teixeira, Wenceslau Gerales. V. Embrapa Solos.

CDD 631.40202

— Capítulo 9 —

POROSIDADE

Brivaldo Gomes de Almeida

Pedro Luiz de Freitas

Wenceslau Geraldtes Teixeira

João Herbert Moreira Viana

Guilherme Kangussu Donagemma

9.1 Porosidade Total

9.1.1 Introdução

A porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume de solo passível de ser ocupada por água e/ou ar. O conhecimento da porosidade total é importante para se entender o movimento e a retenção de água, ar e solutos no solo, entre outros aspectos.

9.1.2 Princípio

A medida direta da porosidade total é obtida pela mensuração da massa de água necessária para saturar uma amostra de solo de volume total conhecido. Baseia-se na saturação do solo com água, que deve ocupar todo o volume de poros. Assume-se a densidade da água igual a 1.000 kg m^{-3} , e a massa de água obtida pela diferença do solo saturado e do

solo seco em estufa, por pesagem em balança semianalítica, igual a seu volume.

A porosidade total pode ser também estimada pela relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas, sendo que a densidade do solo considera o volume de poros mais o volume das partículas e a densidade das partículas considera apenas o volume das partículas. Assim, é possível calcular o volume de poros assumindo a densidade de solo como resultado de uma média ponderada das densidades de partícula e do ar, desprezando-se a massa de ar.

9.1.3 Material e Equipamentos

- Cilindros metálicos.
- Dessecador.
- Bandeja plástica.
- Latas de alumínio com tampa.
- Pano multiuso e tesoura.
- Elástico látex Nº18 (liga de borracha).
- Estufa com ajuste de temperatura para 105 °C.
- Balança.
- Ebulidor ou similar.

9.1.4 Reagentes e soluções

- Água desaerada.

9.1.5 Procedimento para amostras indeformadas

- Preparar a amostra de solo contida no cilindro (previamente

pesado), nivelando as duas superfícies e colocando, na sua parte inferior, tecido apropriado preso com liga de borracha, anteriormente pesados, obtendo-se assim o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga.

- Colocar o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga em tampa de lata de alumínio numerada, previamente pesada.
- Transferir o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga para bandeja plástica com altura superior à do cilindro, adicionar água (previamente desaerada), até atingir uma coluna de cerca de 1 cm no anel. Aguardar a ascensão capilar da água até o topo da amostra. Quando a água atingir o topo, completar a bandeja com água até que o nível desta fique bem próximo da borda do cilindro. Não submergir completamente as amostras.
- Deixar nessas condições até que todas as amostras apresentem a sua superfície brilhante, condição obtida, geralmente, em torno de 12 horas.
- Retirar rapidamente o conjunto amostra-cilindro-tecido-liga, colocar na respectiva tampa e pesar. Ao lidar com várias amostras, manter constante o nível de água na bandeja plástica.
- Se usar a amostra para outras determinações (como para a medida da curva de retenção de água), o cálculo da percentagem de saturação será feito após a obtenção do peso da amostra de solo seco a 105 °C até atingir peso constante.
- Caso contrário, retirar o elástico, reservar, colocar na tampa da lata correspondente e transferir para estufa a 105 °C até atingir peso constante.
- Retirar da estufa, deixar esfriar em dessecador, juntar ao conjunto o respectivo elástico e pesar, obtendo a massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-elástico.

- Retirar a amostra do cilindro, separando o tecido, lavando-o e reservando-o, juntamente com a liga, para os próximos procedimentos.
- Montar o conjunto cilindro-tecido-elástico, imergindo-o em água. Separar uma tampa de lata de alumínio numerada, previamente pesada. Retirar rapidamente o conjunto cilindro-tecido-liga, colocar na respectiva tampa e pesar, obtendo-se assim a massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado. Essa operação é necessária para eliminar, nos cálculos, a massa de água que não estava contida nos poros do solo, e sim adsorvida ao conjunto cilindro-tecido-elástico.

9.1.6 Cálculos

9.1.6.1 Método Direto

$$P_t = \frac{[(a - b) - (c - d)]}{e}$$

Em que:

P_t – Porosidade total, em $m^3 m^{-3}$.

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

b – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

c – massa do conjunto cilindro-tecido-liga saturado, em kg.

d – massa do conjunto cilindro-tecido-liga seco a 105 °C, em kg.

e – volume total da amostra, em m^3 . Nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro, que pode ser estimado por:

$$V_c = \pi.r^2.h$$

Em que:

V_c – volume do cilindro, em m^3 .

r – raio do cilindro, em m.

h – altura do cilindro, em m.

9.1.6.2 Método Indireto

$$Pt = \left[\frac{(D_p - D_s)}{D_p} \right]$$

Em que:

Pt – porosidade total, em $m^3 m^{-3}$.

D_p – densidade de partículas sólidas do solo, em $kg dm^{-3}$ (item 8.2).

D_s – densidade do solo, em $kg dm^{-3}$ (item 7.3).

9.1.7 Observações

O método direto é considerado como padrão, mas por vezes não se consegue que todo o espaço poroso seja ocupado por água. Assim, pode apresentar valores menores que os do método indireto. Essa diferença entre o método direto e indireto é referida na literatura como porosidade oclusa.

Em algumas situações, características do solo dificultam a completa saturação da amostra, podendo ter como causa o revestimento de seus poros por substâncias hidrofóbicas. Nesses casos, estando a amostra sob água desaerada, borrifar álcool etílico na superfície da amostra. Em casos de solos muitos coesos ou compactados, as amostras poderão ser

colocadas numa bandeja com água dentro do dessecador e submetidas a baixo vácuo para saturação.

Para estimativa da porosidade total com amostras indeformadas, quando os cilindros são coletados no campo (ver capítulo 4), os valores são estimados pelo volume de água na amostra saturada (0 kPa).

9.2 Microporosidade (Método da mesa de tensão)

9.2.1 Introdução

A microporosidade pode ser definida como o volume de poros do solo que possuem diâmetro menor que 0,050 mm (50 μm), correspondendo à água drenada dos poros quando da aplicação e equilíbrio de uma coluna de água de 0,60 m. Operacionalmente, a microporosidade é o volume que a água ocupa na amostra após o equilíbrio da amostra submetida a um potencial de 0,60 m.

9.2.2 Princípio

Determinação da massa de água retida em amostra de solo de volume conhecido, após o tempo de equilíbrio na mesa de tensão, por pesagem. As amostras não deformadas são saturadas e colocadas em mesa de tensão, aplicando-se tensão de 0,60 m de coluna de água (6 kPa), e pesadas após o equilíbrio.

9.2.3 Material e Equipamentos

- Anéis metálicos.
- Mesa de tensão.

- Balança semianalítica.

9.2.4 Reagentes e soluções

- Água desaerada.

9.2.5 Procedimento

Detalhes desse procedimento podem ser obtidos no Capítulo 4.

9.2.6 Cálculo

$$M_i = \frac{(a - b)}{c}$$

Em que:

M_i – microporosidade, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

a – massa do conjunto amostra-cilindro-tecido-elástico após equilíbrio com um potencial de 6 kPa (60 cm de coluna de água), em g.

b – massa do solo seco a 105 °C, em g.

c – volume total da amostra, em cm^3 (nesse caso, assume-se que o volume total da amostra é igual ao volume do cilindro).

9.2.7 Observações

Nos cálculos, considera-se a densidade da água igual a 1.000 kg m^{-3} , sendo que a massa de água obtida pela diferença do solo saturado e do solo equilibrado ao potencial de 6 kPa, por pesagem em balança analítica, é igual a seu volume.

É fundamental manter a estrutura do solo na coleta e durante os ensaios. Assim, a forma de coleta pode influenciar nos

resultados, dando-se preferência aos anéis de aço ou alumínio, evitando-se o uso de anéis de PVC, que podem ser deformados durante todo o processo de inserção no solo.

9.3 Macroporosidade

9.3.1 Cálculo

$$M_a = (P_t - M_i)$$

Em que:

M_a – macroporosidade, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$.

P_t – porosidade total, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (item 9.1.6).

M_i – microporosidade, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (item 9.2.6).

9.4 Distribuição de tamanho de poros

9.4.1 Introdução

A avaliação da distribuição de poros de solos por classes de tamanho separa os poros em duas classes distintas: macroporos, representados por poros não capilares, e microporos, para os capilares. Apesar das inúmeras classificações de poros por tamanho, o diâmetro de $50 \mu\text{m}$ tem sido adotado como limite entre essas classes no Brasil.

9.4.2 Princípio

Rearranjo da equação de capilaridade para estimativa dos raios dos poros equivalentes (r) que permanecem cheios após uma amostra de solo ser submetida a determinado potencial.

9.4.3 Cálculo

$$r = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \zeta}{(\rho_l - \rho_a) \cdot g \cdot h}$$

Em que:

r – raio do maior poro que permanece cheio de água após a amostra de solo ser submetida a determinado potencial, em m.

h – equivalente da altura de ascensão de água (mca) num tubo capilar (tensão hidrostática), em m.

γ – tensão superficial entre a solução do solo e o ar (0,0728 N m⁻¹ a 20 °C).

ζ – ângulo de contato entre as fases líquida e sólida nas paredes dos poros, normalmente considerado 0 °, e o seu cosseno assume o valor unitário.

ρ_l – densidade da água (998 kg m⁻³ a 20 °C).

ρ_a – densidade do ar (1 kg m⁻³ a 20 °C) (geralmente pode ser negligenciada).

g – aceleração da gravidade (9,81 m s⁻²).

Apesar de $[r]$ na teoria da capilaridade representar o raio do capilar, na escala dos poros do solo isso é normalmente denominado de “raio equivalente do poro”, sendo apenas uma aproximação do raio real dos poros do solo (KUTILEK; NIELSEN, 1994).

Após substituição dos valores citados anteriormente, a equação da capilaridade pode ser aproximada para grande parte dos estudos pela relação abaixo. Os macroporos, que teriam diâmetro > 50 μm , seriam drenados a uma tensão/pressão de 0,6 mca (6 kPa), sendo esse o limite entre macroporos e microporos.

$$r = \frac{0,00149}{h}$$

9.4.4 Observações

Há autores que usam uma classificação simplificada, separando os poros em apenas duas classes: macroporos, quando os poros têm diâmetro ($\emptyset$) maior que 60 μm ; e microporos, quando os poros são menores que 60 μm , como proposto por Kiehl (1979), enquanto Bamberg et al. (2009), Richards (1965) e USDA (1972) classificam os macroporos como os com $\emptyset > 50 \mu\text{m}$ e microporos os com $\emptyset < 50 \mu\text{m}$.

Uma classificação intermediária, considerando quatro classes de poros, com base nas classificações sugeridas por Klein e Libardi (2002) e Prevedello (1996), é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de poros de acordo com o diâmetro equivalente dos poros no solo e potencial de equilíbrio pela equação da capilaridade

Classe de poro	Diâmetro equivalente do poro (μm)	h (mca)
Macroporos	> 300	$\leq 0,1$
Mesoporos	300 a 50	0,1 a 0,6
Microporos	50 a 0,2	0,6 a 150
Criptoporos	< 0,2	> 150

Solos arenosos, com grande amplitude de tamanho das partículas na fração areia (muito grossa a muito fina), podem apresentar poros não capilares que variam de grandes a pequenos enquanto solos argilosos podem apresentar poros capilares variando de pequenos a muito pequenos. Assim, a classificação simplificada (macro e microporos) não elucida a grande variabilidade no tamanho de poros que pode ocorrer nos solos. Nesses casos, usando uma classificação mais abrangente juntamente com a tensão/pressão (h) a ser aplicada para esvaziar a respectiva classe

de poro, podem-se determinar os diferentes tamanhos de poros nos solos (Tabela 2).

Tabela 2. Classes de poros de acordo com o diâmetro equivalente dos poros no solo (BREWER, 1964).

Classe de poro	Diâmetro equivalente do poro
	μm
Macroporos	
Grandes	> 5000
Médios	5000 – 2000
Pequenos	2000 – 1000
Muito pequenos	1000 – 74
Mesoporos	74 – 30
Microporos	30 – 6
Ultramicroporos	6 – 0,1
Criptoporos	< 0,1

Quando se tem a curva de retenção de água em um solo já ajustada para uma equação contínua, é possível obter, por meio de derivadas, a distribuição de frequência dos diâmetros equivalentes dos poros no solo de forma contínua (DURNER, 1994; MALLANTS et al., 1997; VAN GENUCHTEN, 1980). Para avaliação de determinada classe de porosidade do solo, determina-se a umidade de equilíbrio utilizando a fórmula da capilaridade. Os procedimentos de preparo das amostras, condução das avaliações e obtenção dos resultados estão detalhados no Capítulo 4 (Retenção de água), e os cálculos para cada potencial são semelhantes aos detalhados no item 4.2.5.

9.5 Referências

- BAMBERG, A. L.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; NEBEL, A. L. C.; PANZIERA, W. Qualidade físico-hídrica do solo e a produção de morango. In: TIMM, L. C.; TAVARES, V. E. Q. T.; REISSER JUNIOR, C.; ESTRELA, C. C. (Ed.). **Morangueiro irrigado: aspectos técnicos e ambientais do cultivo**. 1. ed. Pelotas: Ed. da UFPel, 2009. v. 1. p. 115-139.
- BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: J. Wiley, 1964. 470 p.
- DURNER, W. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. **Water Resources Research**, v. 30, p. 211-223, 1994.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.
- KUTÍLEK, M.; NIELSEN, D. R. **Soil hydrology**. Cremlingen-Destedt: Catena, 1994. 370 p.
- MALLANTS, D.; TSENG, P. H.; TORIDE, N.; TIMMERMAN, A.; FEYEN, J. Evaluation of multimodal hydraulic functions in characterizing a heterogeneous field soil. **Journal of Hydrology**, v. 195, p. 172-199, 1997.
- PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. 1. ed. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.
- RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; ESNMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 128-152.

USDA. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. **Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples**. Washington, DC, 1972. (USDA. Report, n. 1).

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

9.6 Literatura recomendada

BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, v. 46, p. 1-37, 1991.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DONAHUE, R. L. **Laboratory manual for introductory soils**. [S.l.]: Interstate, 1952. 151 p.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**: manual de laboratório. San Jose: IICA, 1975. 212 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 352 p.

OLIVEIRA, L. B. **Coefficiente de permeabilidade de dois tipos de solo (aluvial) da Estação Experimental do Curado**. Recife: Instituto Agrônômico do Nordeste, 1961. 32 p. (IAN. Boletim técnico, 16).

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo - protótipos e teste. **Ciência Rural**, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, 2006.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agricultural Engineering**, v. 28, p. 451-454, 1947.

RICHARDS, L. A.; WEAVER, L. R. Fitten-atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. **Soil Science**, v. 56, n. 5, p. 331-340, 1943.