



## Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos

João Herbert Moreira Viana<sup>1</sup>

### Introdução

A densidade de solo é uma das características importantes na avaliação dos solos. Essa característica está associada à estrutura, à densidade de partícula e à porosidade do solo, podendo ser usada como uma indicadora de processos de degradação da estrutura do solo, que pode mudar em função do uso e do manejo do solo. A medição da densidade de solo é usada, por exemplo, para a conversão da umidade determinada em base gravimétrica para a umidade em base volumétrica, utilizada nos cálculos de disponibilidade de água para as plantas e determinação da necessidade de irrigação. A determinação da compactação do solo também pode ser avaliada via densidade de solo.

A densidade é definida como a relação entre a massa de sólidos secos do solo e seu volume total (Equação 1), tendo como unidades de medida, no Sistema Internacional,  $\text{kg m}^{-3}$  ou  $\text{cm}^{-3}$ :

[Equação 1]

$$D_s = \frac{m_s}{V_s}$$

onde

$D_s$  é a densidade de solo,

$m_s$  é a massa do solo seco e

$V_s$  é o volume do solo.

<sup>1</sup> Eng. Agr., Doutorado, Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Milho e Sorgo. Cx. Postal 151. 35701-970 Sete Lagoas, MG. jherbert@cnpms.embrapa.br

A relação entre a densidade de solo, a densidade de partícula e a porosidade é definida pela fórmula (Equação 2):

$$[Equação 2]$$

$$P_s = 1 - \frac{D_s}{D_p}$$

onde

$P_s$  é a porosidade do solo,

$D_s$  é a densidade de solo e

$D_p$  é a densidade de partícula.

A determinação da densidade é, então, obtida pela medição direta dessas duas variáveis. O método usual para determinação da densidade envolve a obtenção de uma amostra de volume conhecido por meio de anéis volumétricos inseridos no solo com o uso de equipamento apropriado. A massa da amostra é obtida por pesagem em balança analítica após remoção da umidade em estufa a 105°C até peso constante.

Esse método, denominado “Método do anel volumétrico”, é o mais usado em trabalhos de avaliação da densidade de solo (Blake e Hartge, 1986; Embrapa, 1997). Apesar de ser um método simples e relativamente rápido, exige cuidado durante a obtenção da amostra para se evitar sua deformação ou sua ruptura. Seu maior limitante, no entanto, é a necessidade da inserção do anel no solo por pressão, o que só é possível em solos ou horizontes livres de corpos rígidos maiores que a fração areia, como cascalhos, calhaus ou raízes grossas. A presença desses corpos impede a inserção do cilindro, podendo danificar a borda cortante do anel ou, ainda, causar a deformação da amostra, caso seja aplicada pressão adicional para romper a resistência desse objeto. Isso levou à necessidade de se desenvolver métodos alternativos para a obtenção de amostras de volume conhecido.

O método alternativo mais conhecido para se determinar o volume de amostras retiradas sem o uso do anel é o “Método do torrão parafinado”. Este método consiste na coleta de um torrão de solo e sua impermeabilização superficial por meio de parafina derretida e na obtenção do volume do torrão por deslocamento de líquido (Embrapa, 1997). Alternativamente pode ser usada uma resina impregnante. Esse método apresenta, como limitação, a necessidade de se obter um torrão estável, que resista ao transporte, à manipulação e ao processo de impermeabilização, além de ser bastante trabalhoso. Esse método também não é aplicável em situações onde ocorre quantidade apreciável de fração grosseira, principalmente quando a quantidade de cascalhos e calhaus é muito maior que a fração terra fina. Nesse caso, não é possível inserir o anel (e.g. Harrison et al., 2003), nem se pode obter um torrão estável, pois este facilmente se esboroa e se perde.

As frações grosseiras (frações > 2,0mm) podem ser encontradas em maior ou menor abundância em várias classes de solos, podendo ser formadas por fragmentos de minerais, de rochas ou por materiais cimentados, como concreções e nódulos. Solos com caráter concrecionário ou contato lítico fragmentário, assim como solos cascalhentos (Santos et al., 2005), se enquadram nesses casos (Figura 1), em que o método convencional para determinação de densidade de solos não se aplica. Isso também é válido para alguns horizontes cascalhentos (Figura 2). Embora na maioria das vezes esses solos apresentem limitações severas para o uso agrícola, em alguns casos podem ter uso intensivo em ambientes específicos. O conhecimento de suas propriedades físicas é também necessário para outros fins, como a estimativa da recarga de aquíferos, a avaliação de estoque de carbono e em estudos de recuperação de áreas degradadas.



**Figura 1.** Exemplo de um solo muito cascalhento, contendo 80% de cascalhos e calhaus em todo o perfil.



**Figura 2.** Exemplo de um horizonte muito cascalhento, localizado a 50cm de profundidade, contendo cerca de 60% de cascalhos e calhaus.

Alguns métodos foram propostos na literatura para a obtenção do volume nesses casos e envolvem a determinação do volume deixado por uma amostra removida e pesada à parte, como o método da escavação. Este método prescreve a remoção de um volume de amostra, separado para pesagem após secagem, e a determinação do volume deixado no solo escavado por meio do preenchimento do espaço vazio por meio de um

fluido, que pode ser água, após impermeabilização da superfície, ou outro material que preenche o espaço, como areia ou um balão de borracha. O método exige calibração, no caso do uso de areia, e muito cuidado na determinação da superfície do solo medido para se evitar erros grosseiros no resultado final (Blake e Hartge, 1986).



Neste trabalho, é proposto um método para a determinação da densidade de solos ou horizontes muito cascalhentos, para os quais os métodos convencionais não são aplicáveis, e que permite a medida direta do volume de um torrão de solo. Este método é uma adaptação do método de Brasher et al. (1968), que usam a resina Saran para impregnação de torrões visando medição de densidade de solo e de retenção de umidade. Consiste basicamente no preparo de um monolito de solo, que é esculpido e superficialmente impregnado in situ, sendo posteriormente impermeabilizado em laboratório. O volume do monolito é então determinado por deslocamento de líquido e sua massa determinada por pesagem direta, após secagem em estufa. Esse método pode também ser empregado em qualquer tipo de solo, além dos cascalhentos e pedregosos, podendo ser aplicado, por exemplo, quando se suspeitar de deformação na amostra causada pelo anel volumétrico (Brasher et al., 1968).

## Método

O procedimento inicial consiste na determinação do local de coleta, que, de acordo com os objetivos do trabalho, pode ser o horizonte superficial ou outro mais profundo. Procede-se à abertura de uma trincheira, cujo tamanho é determinado pela profundidade do horizonte a ser amostrado (Figuras 3 a e b). Após a abertura da trincheira, inicia-se a fase de preparo do monolito, que consiste em se esculpir o mesmo escavando-se ao seu redor (Figura 4).



**Figura 3.** Seleção do ponto de amostragem (esquerda) e profundidade (direita) para retirada do monolito.



**Figura 4.** Escavação do monolito para impregnação em campo

Terminada a escavação e dados a forma e o tamanho desejados ao monolito, procede-se à impregnação de sua superfície com a resina. O volume do monolito deve ser suficientemente grande para que seja representativo do horizonte e é sugerido um tamanho mínimo de  $1.000\text{cm}^3$  ( $10 \times 10 \times 10\text{cm}$ ). Esse tamanho deve levar em conta também a maior dimensão dos fragmentos passíveis de se encontrar no torrão. A forma de tronco de cone (ou tronco de pirâmide) é mais adequada, pois facilita a impregnação superficial e reduz o esboroamento lateral da amostra.

Nessa fase, é usada a cola de PVA (cola branca) como resina de impregnação, diluída em água e

álcool hidratado na proporção de 5:4:1 (cola, água, álcool). Essa diluição pode ser alterada até que se obtenha uma suspensão de viscosidade adequada para o trabalho. A suspensão impregnante deve ser suficientemente fluida para poder ser aplicada à superfície formando um filme contínuo, mas sem ser absorvida em grande quantidade ou escorrer pelas bordas. A cola é, então, aplicada à superfície do torrão com o auxílio de um pincel macio. A superfície deve ser coberta de forma que uma fina película se forme, permitindo a manutenção das partículas agregadas (Figura 5). O topo e as laterais do monolito devem ser recobertas com a resina.





**Figura 5.** Impregnação da superfície do monólito com a cola de PVA.

Após a secagem, o monólito pode ser removido por escavação de sua base (Figura 6), sendo então invertido e tendo sua base impregnada com a mesma resina após o desbaste do excesso de material (Figura 7). Essa operação deve ser feita com cuidado para se evitar a ruptura da base do monólito, especialmente em materiais pouco consolidados. Uma camada adicional de resina pode ser aplicada para se reforçar e completar a anterior. O tempo de secagem varia dependendo da umidade do solo e do ar, sendo em geral em torno de 6 a 8h.

Após a completa secagem da cola, procede-se à segunda impregnação, agora usando-se a resina impermeabilizante do tipo resina acrílica estirenada. O monólito deve ser recoberto com uma fina camada da resina, de forma contínua, garantindo-se a completa cobertura da sua superfície (Figura 8). Deve-se garantir que a secagem da resina seja completada antes de se prosseguir nas medições. Essa etapa deve ser feita em local aberto e arejado para se evitar a inalação dos vapores dos solventes da resina.



**Figura 6.** Remoção do monolito do ponto de coleta impregnado com a cola de PVA já seca.



**Figura 7.** Limpeza e impregnação da base do monolito.



**Figura 8.** Impregnação da superfície do monolito com a resina acrílica.

Procede-se então à pesagem do monolito em balança analítica (Figura 9). Considera-se, para efeitos práticos, que o peso adicional da resina aplicada é desprezível comparado ao peso total do torrão. Após essa pesagem, procede-se à obtenção do volume da amostra por meio da imersão da mesma em um recipiente de volume conhecido e previamente calibrado. A calibração é efetuada preenchendo-se o recipiente até uma marca feita em sua borda e medindo-se o volume total de água usado.

A amostra é colocada no recipiente e esse é completado até a marca da calibração, sendo o volume de água medido por bureta ou pesagem (Figura 10). Nos casos de monolitos grandes (maiores que 1L), a pesagem do recipiente se torna mais fácil e mais precisa que a medição direta do volume. Assumindo-se a densidade da água  $D_a \approx 1,0$ , o volume pode ser considerado igual à massa de água, usando-se unidades compatíveis.



**Figura 9.** Pesagem do monolito em balança analítica.





**Figura 10.** Pesagem do conjunto recipiente + monolito + água em balança analítica.

### Cálculos

A densidade do solo é determinada pela razão da massa do torrão (monolito) corrigida para base seca e pelo volume do torrão, equivalente à diferença entre os volumes de água medidos na presença e na ausência do torrão (Equação 3).

$$\text{[Equação 3]} \\ D_s = \frac{(m_t \times f_c)}{(V_{rc} - V_{ad})}$$

A correção da umidade do torrão é feita por meio da Equação 4:

$$\text{[Equação 4]} \\ f_c = 1 - \frac{m_u - m_s}{m_s}$$

onde

$D_s$  é a densidade de solo,

$m_t$  é a massa do torrão,

$m_u$  é a massa da amostra de solo úmido,

$m_s$  é a massa da amostra de solo seco em estufa,

$f_c$  é o fator de correção de umidade,

$V_{rc}$  é o volume total de água até a marca de referência no recipiente sem a amostra,

$V_{ad}$  é o volume adicionado de água até atingir a marca de referência no recipiente após a colocação da amostra.

Deve-se verificar se não há entrada de água na amostra, o que pode ser observado se houver formação de bolhas na superfície do torrão. Caso isso aconteça, é necessário secar a amostra e repetir o processo de impregnação.

Após a obtenção do volume, determina-se a umidade de uma amostra retirada do interior do torrão para se obter o fator de correção de umidade ( $f_c$ ) e a densidade de partícula ( $D_p$ ) para o cálculo da porosidade total.

### Exemplo de resultados

Os resultados mostrados na Tabela 1 são obtidos depois da aplicação do método aos dois casos ilustrados na sequência de figuras anteriores. A densidade de solo foi obtida por meio da aplicação da Equação 3, usando-se o fator de correção da Equação 4 para uma umidade de 5%. O Exemplo 1 é do solo muito cascalhento (Figura 1), com cerca de 80% de fração grosseira. O Exemplo 2 é do horizonte cascalhento, com cerca de 60% de fração grosseira (Figura 2).

**Tabela 1.** Resultados de Densidade de Solo obtidos com o uso do método apresentado.

Amostra	Peso do torrão (g)	Volume de água (cm <sup>3</sup> )	Fator fc	Densidade de solo (g cm <sup>-3</sup> )
Exemplo 1	3026	1453	0,95	1,978
Exemplo 2	1024	620	0,95	1,569

A porosidade total dos solos dos exemplos anteriores é calculada por meio da Equação 2, conforme os resultados da Tabela 2, utilizando-se o valor de densidade de partícula de 2,7g cm<sup>-3</sup>.

**Tabela 2.** Resultados de Porosidade Total obtidos com o uso do método apresentado.

Amostra	Densidade de solo (g cm <sup>-3</sup> )	Porosidade total
Exemplo 1	1,978	0,267
Exemplo 2	1,569	0,419

## Conclusões

O método proposto representa uma alternativa viável para a obtenção direta dos valores de densidade de solo e de porosidade total de solo de materiais para os quais os métodos convencionais não são aplicáveis. Trata-se de um procedimento simples e de baixo custo, utilizando-se equipamentos e reagentes de fácil aquisição. Apresenta como principais limitações o fato de ser um procedimento laborioso e requerer maior tempo que o convencional, o que deve ser levado em conta no planejamento e na execução dos trabalhos de coleta no campo.

## Referências bibliográficas

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd. ed. Madison: Wisconsin, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375. (Agronomy Series, 5)

BRASHER, B. R.; FRANZMEYER, D. P.; VALASSIS, V.; DAVIDSON, S. E. Use of Saran resin to coat natural soil clods for bulk-density and water-retention measurements. **Soil Science**, Baltimore, v. 101, n. 2, p.108, 1968

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).

HARRISON, R. B.; ADAMS, A. B.; LICATA, C.; FLAMING, B.; WAGONER, G. L.; CARPENTER, P. and VANCE E. D.. Quantifying Deep-Soil and Coarse-Soil Fractions: Avoiding Sampling Bias. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 1602–1606, 2003

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. rev. ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.

**Comunicado Técnico, 154**



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

**Endereço:** Rod. MG 424 Km 45 Caixa Postal 151  
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

**Fone:** (31) 3027 1100

**Fax:** (31) 3027 1188

**E-mail:** sac@cnpms.embrapa.br

**1ª edição**

1ª impressão (2008): 200 exemplares

**Comitê de publicações**

**Presidente:** Antônio Álvaro Corsetti Purcino

**Secretário-Executivo:** Paulo César Magalhães

**Membros:** Andrea Almeida Carneiro, Carlos Roberto Casela, Cláudia T. Guimarães, Clenio Araujo, Flávia França Teixeira, Jurandir Vieira Magalhães

**Expediente**

**Revisão de texto:** Clenio Araujo

**Editoração eletrônica:** Tânia Mara Assunção Barbosa