

Constituição e propriedades do solo

Por

Manuel A. V. Madeira & Rui Pinto Ricardo

2015/2016

7 - DENSIDADE E POROSIDADE DO SOLO

7.1. DENSIDADE DO SOLO

7.1.1. INTRODUÇÃO

O conceito de densidade que se conhece da Física, como não podia deixar de ser, é também aplicável ao solo. Sabe-se que a densidade de um corpo é o cociente da massa desse corpo pela massa, de um volume igual, de outro tornado como padrão (padrão que no caso dos sólidos e dos líquidos é a água e no caso dos gases é o ar, às condições normais de pressão e temperatura). Também se pode definir a densidade como o cociente entre a massa volúmica do corpo (massa da unidade de volume do corpo) e a massa volúmica do padrão. A massa volúmica tem por dimensões ML^{-3} ; a densidade, evidentemente, é adimensional.

Em relação a um horizonte (ou camada) do solo, como se sabe, podem considerar-se dois volumes diferentes: o volume real ocupado pelas partículas sólidas que o constituem; e, por outro lado, o volume aparente que lhe corresponde, isto é, o volume real das partículas sólidas mais o volume respeitante aos vazios ou poros que, na sua arrumação, as partículas deixam entre si. Podem assim definir-se para o solo duas densidades: *densidade real* e *densidade aparente*.

7.1.2. DENSIDADE REAL DO SOLO

Parte-se da densidade das partículas sólidas do solo, que se define como o cociente entre a massa de uma partícula isolada do solo e a massa de água que ocupa volume igual ao da partícula. Por extensão ter-se-á que a densidade real (simbolizada por D_r) de um horizonte (ou

camada) do solo é a densidade média das partículas sólidas que o constituem; ou, de outro modo, é o cociente entre a massa das partículas sólidas constituintes do horizonte (ou camada) e a massa de água com volume igual ao volume real ocupado pelas partículas.

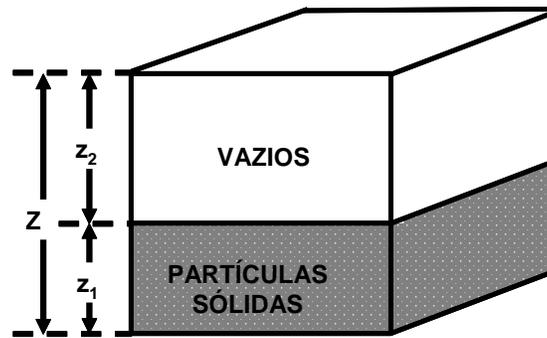


Figura 1 – Esquema representando o volume aparente de um horizonte (ou camada) de solo

Considerando a Figura 1, correspondente a um horizonte (ou camada) de solo, tem-se que a expressão da densidade real será dada por

$$D_r = \frac{m_s}{m_a} = \frac{z_1 Z^2 \rho_s}{z_1 Z^2 \rho_a} = \frac{\rho_s}{\rho_a}$$

em que:

m_s - massa das partículas sólidas;

m_a - massa de água com volume igual ao volume real ocupado pelas partículas;

ρ_s - massa volúmica das partículas sólidas;

ρ_a - massa volúmica da água.

O solo tem constituintes variados, cuja densidade está normalmente compreendida entre 1,1 e 5,2:

- Matéria orgânica

1,1

- Minerais primários e minerais de argila 2,0-3,0
- Hematite 5,2.

Atendendo aos constituintes que predominam nos solos, verifica-se que a densidade real é bastante variável. Com efeito, a densidade real das partículas dos horizontes ou camadas de natureza orgânica varia entre 1,1 e 2,0; no caso dos horizontes ou camadas minerais com teor de matéria orgânica inferior a 3% considera-se que a sua densidade real é da ordem de 2,60.

- Horizontes orgânicos, 2,0-1,4
- Horizontes minerais com teor de matéria orgânica <3% 2,60

Para fins que não exijam grande rigor, podem-se usar tais valores nos cálculos a efectuar; se o teor de matéria orgânica num horizonte mineral exceder 3%, então o valor de 2,60 deverá ser subtraído de um factor dependente do teor em matéria orgânica (considerando que a densidade real média das partículas orgânicas é 1,5), através da expressão:

$$D_r = 2,60 - \% \text{ MO} \times 0,015.$$

Se for preciso conhecer rigorosamente a densidade real, ela poder-se-á determinar pelos métodos usuais conhecidos da Física, tais como o *método do picnómetro* (baseado na deslocação da água provocada pela imersão de um amostra de solo) ou o *da balança de Jolly*, baseado no princípio da impulsão (diferença de peso das partículas sólidas, imersas e fora de água). Também se pode recorrer à *caixa de Keen-Raczowsky*, embora se trate de determinação algo grosseira.

7.1.3. DENSIDADE APARENTE DO SOLO

A densidade aparente (simbolizada por D_{ap}) de um horizonte (ou camada) do solo define-se como o cociente entre a massa das partículas sólidas constituintes do horizonte (ou camada) e a massa de água com volume igual ao volume aparente respeitante às partículas (volume real das partículas sólidas + volume correspondente aos vazios ou poros).

Com base na Figura 1, deduz-se

$$D_r = \frac{m_s}{M_a} = \frac{z_1 Z^2 \rho_s}{z^3 Z^2 \rho_a} = \frac{z_1}{Z} \times \frac{\rho_s}{\rho_a}$$

e como

$$\frac{\rho_s}{\rho_a} = D_r,$$

vem

$$D_{ap} = \frac{z_1}{Z} \cdot D_r,$$

tendo m_s , ρ_s e ρ_a os significados anteriores e sendo M_a a massa de água com volume igual ao volume aparente correspondente às partículas com volume sólidas.

A densidade aparente é tanto maior quanto maior for D_r e a relação z_1/Z , ou seja, quanto menor for a porosidade, cujo conceito se apresenta em 7.2. Depende, além disso, da textura do solo, bem como da agregação e do teor em matéria orgânica. Para a D_{ap} do solo podem assim considerar-se os seguintes valores normais, para fins que não exijam grande rigor:

- Horizontes orgânicos	0,2-0,3
- Horizontes minerais	
- Andossolos	≤0,90
- Outros solos, com teor de matéria orgânica inferior a 2%	1,10-1,50.

Estes últimos valores (1,10-1,50) distribuem-se da seguinte forma, em função da textura:

- Arenosa	1,50
- Arenosa-franca e franco-arenosa	1,46
- Franca	1,30
- Franco-argilo-arenosa e franco-argilosa	1,25
- Argilo-arenosa e argilosa	1,20-1,10.

Estes valores tenderão, naturalmente, a ser mais elevados, para as mesmas classes de textura, quando os horizontes se apresentarem compactados. Em contrapartida, horizontes mais ricos em matéria orgânica tenderão a apresentar valores mais baixos de massa volúmica aparente, sendo vulgar indicar valores de 0,2 a 0,3 g cm⁻³ para o caso de horizontes orgânicos

Como nos horizontes minerais pobres em matéria orgânica a D_r é da ordem de 2,60, valores elevados de D_{ap} estão correlacionados, de acordo com o que se destacou atrás, com baixos valores de porosidade, podendo, portanto, a D_{ap} servir de indicador da porosidade. Desde que não haja porosidade suficiente e, mais do que isso, desde que não se encontrem no solo vazios com dimensões adequadas, a expansão das raízes não é possível e, portanto, não se podem desenvolver as plantas. Admite-se que a $D_{ap} \geq 1,75$ em solos de textura grosseira e a $D_{ap} \geq 1,50$ em solos de textura fina, correspondem condições que impedem ou pelo menos dificultam o crescimento das raízes.

Para a determinação da densidade aparente do solo pode recorrer-se a vários métodos: *método da sonda*, *método do torrão*, *método de escavação* e *métodos de radiação*, baseando-se estes últimos, principalmente, na transmissão ou dispersão de raios gama dentro do solo *in situ* e implicando, como é óbvio, uma adequada calibração prévia do aparelho de radiação utilizado (Klute, 1986). De todos os métodos, os dois primeiros são os que envolvem técnicas mais simples e, por isso, são aqueles que se usam normalmente nos casos correntes.

No *método da sonda*, usando uma sonda especial (*sonda de Grove*), consegue-se colher para caixas com volume definido amostras de solos sem alteração do seu arranjo natural, as quais ficam assim dentro das caixas com a estrutura que possuem *in situ*. Determina-se então a massa das partículas sólidas e conhece-se o volume aparente que lhes corresponde (volume da caixa); deste modo, facilmente se chega ao cálculo de D_{ap} . Os valores assim obtidos são bastante fiáveis, sobretudo no caso de solos pouco heterogêneos e com poucos elementos grosseiros. A existência de teores consideráveis de cascalho e/ou pedra, para além de constituir factor de heterogeneidade do solo dificulta também um enterramento uniforme dos cilindros, pelo que este método será menos indicado para solos pedregosos.

O *método do torrão* consiste na colheita, com todo o cuidado, de torrões ou agregados de solo, os quais deverão ser envolvidos por uma fina película de resina sintética ou parafina para

depois, pelo método de *picnómetro* ou o da *balança de Jolly* se fazer a determinação da sua massa volúmica. Uma vez que a camada de resina ou parafina irá impedir a entrada de água nos torrões, o volume considerado corresponderá ao seu volume aparente. Os valores obtidos tendem a afastar-se dos valores de campo, uma vez que não atendem aos espaços vazios existentes entre os torrões.

No *método de escavação* escava-se uma pequena cavidade no solo (com um volume que não exceda cerca de 1500 cm^3), guardando toda a terra para, a partir dela no laboratório, se determinar a massa das partículas sólidas correspondente ao volume de solo escavado. Este volume mede-se directamente no solo *in situ*, recorrendo para o efeito a um instrumento conhecido pelo nome de *voluminímetro*, por exemplo.

O voluminímetro consta em linhas muito gerais de um cilindro de vidro graduado, fechado na extremidade superior e aberto na inferior, o qual se encontra montado numa armação metálica cuja base o fecha hermeticamente depois de a ela se aplicar um balão de material elástico fino mas resistente. Faz também parte do aparelho uma bomba de pressão em borracha, do tipo pêra, comunicando com o interior do cilindro por intermédio de um tubo metálico de pequeno diâmetro que vai desembocar no extremo superior do cilindro.

Para se efectuar a medição de volume, enche-se o cilindro com água, assenta-se a base do voluminímetro na superfície do solo em correspondência com a cavidade escavada e, então, insufla-se ar no cilindro recorrendo-se, para o efeito, à bomba de pressão; a entrada de ar no cilindro obriga a água a passar para o balão que, dilatando-se, vai ocupar a cavidade, acabando por preenchê-la na totalidade e ajustando-se-lhe perfeitamente. Logo que seja atingida tal situação, deixa de se dar a passagem de água do cilindro para o balão, mantendo-se então aí constante o respectivo volume. O volume da cavidade escavada é dado, por conseguinte, pela diferença entre os volumes de água indicados no cilindro graduado no início e no fim do ensaio considerado. Dispõe-se, assim, da massa das partículas sólidas e do volume aparente que lhes corresponde, os parâmetros indispensáveis para o cálculo de D_{ap} .

A principal limitação destes métodos, para além do custo e do incómodo de transporte para o campo dos dispositivos para medição do volume, está na dificuldade em conseguir sempre medições exactas: no caso do *método da sonda*, por dificuldades de nivelamento da superfície em

solos de textura grosseira; no caso do *voluminímetro*, por dificuldades de ajustamento da membrana às irregularidades da parede da cavidade.

7.2. POROSIDADE DO SOLO

7.2.1. Porosidade Total. Tipos de Porosidade

A porosidade pode definir-se como a razão entre o volume ocupado pelos vazios e o volume aparente do solo. Considerando a Figura 1, será então

$$P = \frac{V_{\text{vazios}}}{V_{\text{ap}}} = \frac{z_1 Z^2}{Z^3} = \frac{(Z - z_1) Z^2}{Z^3} = \frac{Z^3 - z_1 Z^2}{Z^3} = 1 - \frac{z_1}{Z}$$

Ora, como se viu anteriormente,

$$\frac{z_1}{Z} = \frac{D_{ap}}{D_r}$$

Logo

$$P = 1 - \frac{D_{ap}}{D_r}$$

ou seja

$$P = \frac{D_r - D_{ap}}{D_r}.$$

Geralmente a porosidade exprime-se em percentagem (%) e, assim, ter-se-á

$$P(\%) = \frac{D_r - D_{ap}}{D_r} \times 100.$$

Estas fórmulas mostram a dependência da densidade aparente da densidade real e da porosidade, como já atrás se tinha chamado a atenção. Atendendo às diferenças relativamente pequenas de densidade real entre os solos minerais, as diferenças de densidade aparente são muito principalmente reflexo de diferenças de porosidade.

A porosidade, tal como sucede com a densidade aparente, varia apreciavelmente com a textura (Figura 2), a estrutura e o teor do solo em matéria orgânica.

No horizonte superficial dos solos minerais de textura grosseira, a porosidade é, em geral, da ordem de 30-50%; nos de textura média a fina atinge 40-60%. Neste último caso pode exceder mesmo os 60% se a agregação estiver bem desenvolvida e se o teor em matéria orgânica for relativamente elevado. Em horizontes orgânicos ou solos orgânicos a porosidade é muito superior a tais valores.

Em igualdade de textura, a porosidade é em geral menor em níveis subsuperficiais ou subjacentes do solo, devido a menor teor em matéria orgânica, a piores condições de agregação e ao peso dos níveis superiores. A diminuição da porosidade com o aumento de profundidade no perfil do solo é, pois, vulgar. Como é óbvio, em solos cultivados a sua mobilização e respectiva natureza afecta bastante a porosidade (Figura 3).

O simples conhecimento da porosidade expressa como se indicou - *porosidade total* -, não basta para esclarecer várias questões relativas à retenção e movimentos da água no solo, ao arejamento, etc. É então preciso distinguir os seus dois tipos que é usual considerar:

- *Macroporosidade* ou *porosidade não-capilar* (por vezes também designada *porosidade de arejamento*) - a correspondente ao conjunto dos macrovazios ou macroporosidade
- *Microporosidade* ou *porosidade capilar* - a correspondente ao conjunto dos microvazios ou microporos.

A separação entre microporosidade e macroporosidade está implícita na distinção entre microvazios (ou microporos) e macrovazios (ou macroporos), o que foi feito no capítulo sobre a Estrutura do Solo, atendendo ao diâmetro respectivo e, por outro lado, ao comportamento da água.

Quanto a valores de um e outro tipo de porosidade, pode dizer-se de uma forma genérica o seguinte, quanto aos solos minerais:

- *Solos de textura grosseira* (que, como se viu, tendem a ter menor porosidade total), a maior parte desta é macroporosidade;
- *Solos de textura média a fina* (cuja porosidade total tende a ser maior), uma proporção muito considerável desta é microporosidade.

Em qualquer solo há toda a vantagem na existência de proporções equilibradas dos dois tipos de porosidade.

Os valores de porosidade total podem obter-se por cálculo, desde que se conheçam D_r e D_{ap} , recorrendo para o efeito à expressão deduzida atrás que relaciona a porosidade com estes dois parâmetros. A porosidade também se pode determinar partindo de amostras de solo não perturbadas (por exemplo, as amostras contidas nas caixas usadas no método da sonda para a determinação de D_{ap}), saturando-as com água para preenchimento de toda a porosidade (sem se adicionar água em excesso) e determinando a água contida na amostra; tal quantidade de água, expressa em volume e referida ao volume aparente correspondente à amostra (volume da caixa), obtém-se a porosidade total.

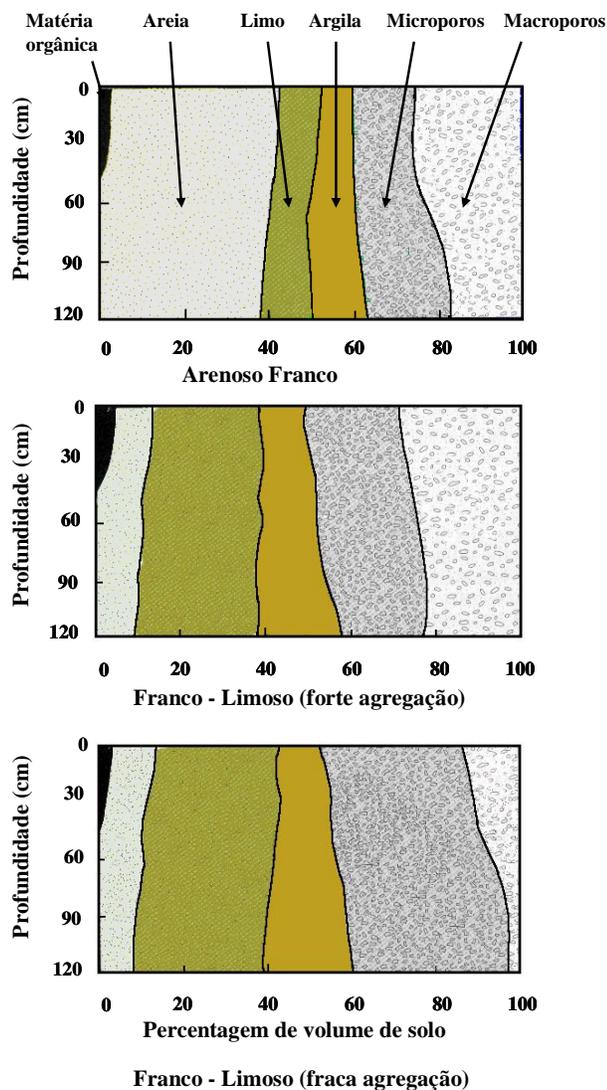


Figura 2 – A porosidade total e os seus dois tipos dependem fortemente da textura e da agregação do solo (adaptado de Brady & Weil, 1999)

Quanto à macroporosidade e à microporosidade, para determinar as proporções de cada uma, usualmente aplica-se a uma amostra de solo não perturbada e saturada com água (pode-se usar a amostra da caixa anterior) uma força extractiva correspondente à pressão de colunas de água com altura da ordem de 25-40 cm. O volume de água extraído, expresso em percentagem do volume aparente da amostra, mede a macroporosidade (por vezes designada por porosidade de arejamento); o volume de água retido, expresso da mesma maneira, mede a microporosidade.

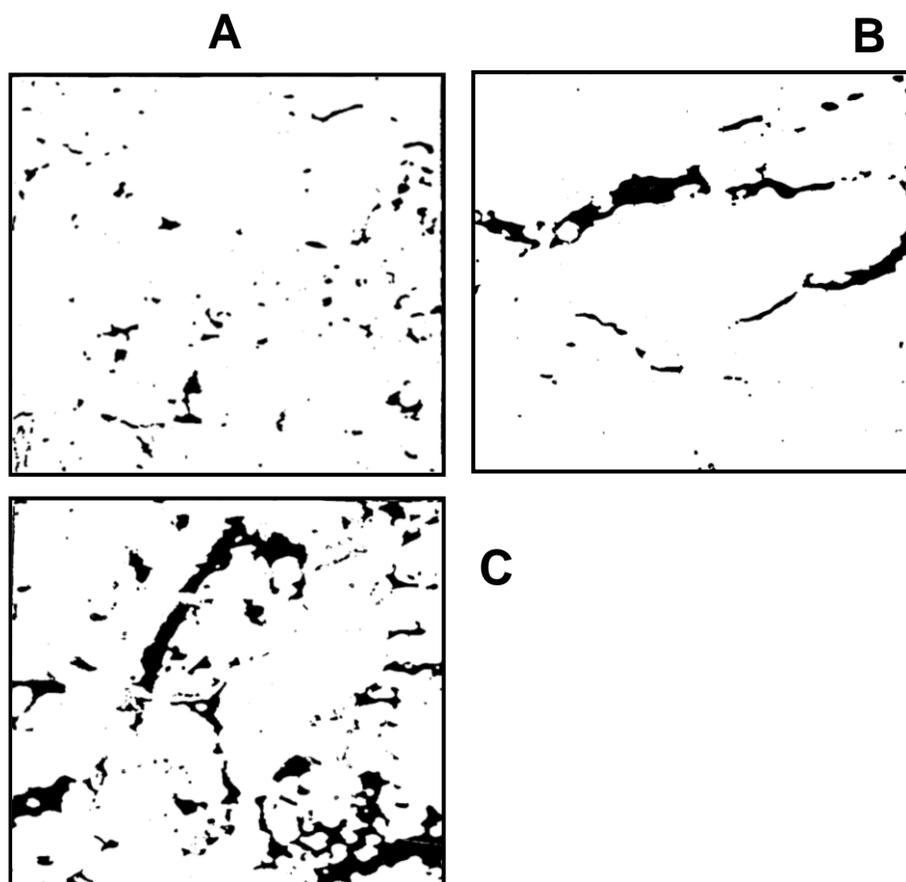


Figura 3 – Poros com diâmetro superior a 30 μm (a preto) num (A) solo mobilizado (três escarificações por ano); (B) solo mobilizado (duas gradagens por ano); (C) solo não mobilizado (seis anos).

7.2.2. ÍNDICE DE VAZIOS

Por índice de vazios entende-se a razão entre o volume ocupado pelos vazios e o volume ocupado pelas partículas sólidas. Voltando à Figura.9.1., ter-se-á então:

$$I_v = \frac{V_{vazios}}{V_{part.sól.}} = \frac{Z_2 Z^2}{Z_1 Z^2} = \frac{\frac{Z_2 Z^2}{Z^3}}{\frac{Z}{Z} \frac{Z_2}{Z^2}} = \frac{\frac{Z_2 - Z^2}{Z^3}}{\frac{Z^3 - Z_2 Z^2}{Z^3}} = \frac{\frac{Z_2 Z^2}{Z^3}}{1 - \frac{Z_2 Z^2}{Z^3}}$$

Ora, como se viu atrás

$$\frac{Z_2 Z^2}{Z^3} = P$$

logo, vem

$$I_v = \frac{P}{1 - P}$$

PRINCIPAL BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Botelho da Costa, J.V. 1975 - *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. (Twelfth Edition). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. (Fourteenth Edition revised). Pearson International Edition, Upper Saddle River, New Jersey.
- Evans, C. (s.d.). Particle density. *In Techniques for measuring soil physical parameters*. Advisory Paper no. 18. ADAS, MAFF, London. p. 45-46.
- Hénin, S. (1977). *Cours de Physique du Sol I*. ORSTOM, Editest. Bruxelles.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, Amsterdam
- Hughes, A. D. (s.d.). Bulk density. *In Techniques for measuring soil physical parameters*. Advisory Paper no. 18. ADAS, MAFF, London. p. 38-44.
- Klute, A (Ed.). 1986 - *Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America Inc. Publisher. Madison.
- Marshall, T. J., Holmes, J.W. & Rose, C. W. (1996). *Soil Physics*. Third Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Ed.). 1975 - *Soil Physical Conditions and Crop Production*. Technical Bulletin 29. Her Majesty's Stationery Office. London.
- SSS. 1951 - *Soil Survey Manual*. Agricultural Handbook no.18. U.S. Department of Agriculture. Washington.

Constituição e propriedades do solo

Por

Manuel A. V. Madeira & Rui Pinto Ricardo

2015/2016

8 – CONSISTÊNCIA DO SOLO. EXPANSIBILIDADE E CONTRACTIBILIDADE DO SOLO. COMPACIDADE E COMPRESSIBILIDADE DO SOLO

8.1. CONSISTÊNCIA DO SOLO

8.1.1. NOÇÕES GERAIS

A *consistência do solo* diz respeito à manifestação das forças físicas de coesão e adesão que se desenvolvem no solo para vários teores em água. A consistência do solo é, em geral, definida para três estados de humidade: solo *muito húmido* (a molhado), *húmido e seco*.

Considerando as forças de coesão e de adesão manifestadas no solo, as suas variações em função do teor de água do solo seguem mais ou menos as curvas gerais apresentadas na Fig.10.1.

O solo com excesso de água, para além da *capacidade máxima para água*, encontra-se no *domínio líquido*. O solo manifesta então uma certa fluidez, escorrendo com menor ou maior facilidade.

Em solo *muito húmido*, com teor de água entre a capacidade máxima e sensivelmente a *capacidade de campo*, verifica-se *domínio plástico*, e nele o solo manifesta duas formas de consistência: a *adesividade* e a *plasticidade*. A primeira revela-se pela maior ou menor facilidade de aderência a qualquer objecto; a segunda caracteriza-se pela possibilidade de o material, sob influência de uma pressão, mudar continuamente de forma e, quando deixa de se aplicar aquela, manter a forma que se lhe haja dado, o que se explica, essencialmente, pela existência de películas aquosas sob tensão entre as partículas.

Reduzindo-se o teor de água abaixo da capacidade de campo, transitando assim o solo do estado muito húmido a simplesmente húmido e de seguida ao estado *seco*, com maior diminuição daquele teor, passa-se então ao *domínio sólido* do solo, em que o material deixa de poder mudar de forma quando se lhe aplica uma pressão. Neste domínio manifestam-se, igualmente, duas

formas de consistência: friabilidade (no estado húmido) e a tenacidade ou dureza (no estado seco).

Estudos laboratoriais demonstram que, com a redução do teor de água em solo no domínio plástico, dá-se uma diminuição do volume de solo correspondente ao volume de água perdido. O mesmo se verifica quando se passa daquele domínio ao domínio sólido, mas aqui só durante a fase inicial da secagem do respectivo material; a partir de certo limite, a redução de volume vai sendo cada vez menor do que o volume de água perdido (por começar a entrar ar no solo) até um ponto em que se atinge um volume constante, deixando de haver maior contracção do material para continuada perda de água, em virtude das partículas de solo terem atingido a distância mínima a que se podem situar umas em relação às outras. O teor de água correspondente a tal condição separa o estado húmido (em que se manifesta a friabilidade) do estado seco (característico da tenacidade).

A *friabilidade* define-se pela facilidade de esboroamento da massa do solo. Ao passar-se do domínio plástico para o domínio sólido, deixam de existir películas aquosas sob tensão entre as partículas de solo e a coesão destas partículas é ainda relativamente pequena. O material evidencia assim maior ou menor friabilidade.

Finalmente, se não se esboroar o material enquanto no estado húmido, deixando-se passar por este estado até ao estado seco, aumenta mais ou menos acentuadamente a coesão entre as partículas terrosas, manifestando-se então a *tenacidade* ou *dureza*. Esta pode caracterizar-se pela resistência que a massa do solo oferece ao esmagamento ou à rotura.

Em relação à consistência do solo interessa considerar, como principais parâmetros caracterizadores, os seguintes: *ponto de adesividade*, *limite superior de plasticidade*, *limite inferior de plasticidade*, *limite de contracção*, *número de plasticidade* e *índice de friabilidade*.

O *ponto de adesividade* é definido pela percentagem de água a partir da qual o material do solo deixa de aderir a qualquer objecto. Nesse ponto a adesão atinge o seu máximo, verificando-se que pode coincidir com o limite superior de plasticidade ou situar-se ligeiramente abaixo dele.

Por *limite superior de plasticidade* ou *limite líquido* considera-se a percentagem de água acima da qual uma porção de solo amassada com água já não retém a forma que se lhe procure imprimir, começando a manifestar certa fluidez. Este limite coincide aproximadamente com a capacidade máxima para a água.

Limite inferior de plasticidade ou limite plástico é a percentagem de água abaixo da qual uma porção de solo amassada com água já não muda continuamente de forma sob pressão, tendendo a desagregar-se quando se pretende moldar. Situa-se próximo da “capacidade de campo”, estando mais frequentemente em posição um pouco inferior a. tal constante de humidade.

O *limite de contracção* é a percentagem de água a partir da qual, uma determinada massa de solo, prosseguindo em fase de dessecação, mantém volume constante. Este limite, de acordo com o referido anteriormente, estabelece a separação entre o estado húmido e o estado seco do solo.

A diferença entre os dois limites de plasticidade designa-se *número de plasticidade*.

Dá-se o nome de *índice de friabilidade* à diferença entre o limite plástico e o limite de contracção.

8.1.2. AVALIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA

A caracterização dos solos quanto à consistência tem interesse geral no que respeita à sua distinção e classificação. É além disso particularmente importante em relação com a mobilização do solo, dada a influência da consistência na técnica e economia das respectivas operações.

O solo é devidamente caracterizado no que se refere à consistência pelo estabelecimento, para os seus diversos horizontes, das correspondentes curvas de coesão e adesão e/ou pela determinação dos vários parâmetros considerados. Há processos laboratoriais adequados para o efeito, mas eles não serão aqui abordados por envolverem metodologias algo complexas e por se tratar de matéria que é sobretudo do foro da mecânica do solo.

O que correntemente se faz em estudos do solo é a caracterização geral da consistência em pleno campo, durante o estudo morfológico dos solos. Neste âmbito, segue-se o sistema estabelecido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SSS, 1951), em que a consistência do solo pode ser avaliada para os três níveis de humidade já atrás referidos: solo muito húmido, húmido e seco.

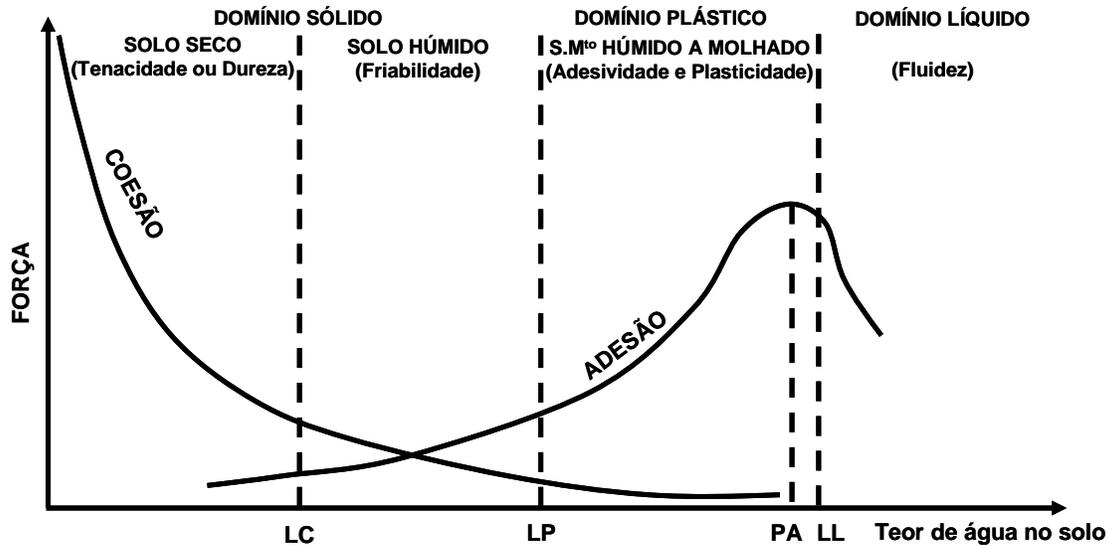


Figura - Curvas de variação das forças de coesão e de adesão manifestadas no solo, em função do teor de água. LC limite de concentração; LL – Limite líquido ou limite superior de plasticidade; LP – Limite plástico ou limite inferior de plasticidade; PA – Ponto de adesividade.

Consistência no estado muito húmido

É descrita, como se viu, em termos de *adesividade* e de *plasticidade*, determinando-se para teor de água ligeiramente superior ao correspondente à capacidade de campo.

Adesividade - Para a avaliar aperta-se uma porção de material do solo entre o dedo polegar e o indicador e nota-se a sua maior ou menor aderência. Podem distinguir-se os seguintes graus de adesividade:

- 0 - *Não pegajoso*: Depois de se deixar de fazer pressão, praticamente nenhum material adere ao polegar ou ao indicador.
- 1 - *Pouco pegajoso*: Depois de apertado, o material adere aos dois dedos mas, afastando os dedos um do outro, distende-se pouco e deixa um dos dedos limpos.
- 2 - *Pegajoso*: Depois de apertado, o material adere aos dois dedos e, se estes se afastarem um do outro, o material distende-se um tanto e tende a ficar dividido pelos dois dedos, em vez de ficar preso só num deles.
- 3 - *Muito pegajoso*: Depois de apertado, o material adere fortemente aos dedos e distende-se nitidamente quando estes se afastam.

Plasticidade - Para se avaliar rola-se uma porção de material do solo entre o polegar e o indicador, procurando-se formar um filamento. Classifica-se como segue:

- 0 - Não Elástico: Não é possível formar-se filamento.
- 1 - Pouco plástico: Forma-se filamento mas a massa é facilmente deformável.
- 2 - Plástico: Forma-se filamento e, para deformar a massa, é necessário exercer pressão moderada.
- 3 - Muito plástico: Forma-se filamento e é necessário exercer forte pressão para deformar a massa.

Consistência no estado húmido

Corresponde à *friabilidade*, como se disse, e determina-se para teor de humidade aproximadamente a meia distância entre os respeitantes à capacidade de campo e ao do solo seco ao ar. Retira-se do perfil um pequeno torrão ou agregado, ligeiramente húmido, que se aperta entre os dedos polegar e indicador:

- 0 - *Solta*: Não coerente.
- 1. *Muito friável*: Esboroa-se sob pressão muito ligeira mas volta a aderir quando apertado.
- 2. *Friável*: Esboroa-se facilmente sob pressão ligeira a moderada e adere quando apertado.
- 3 - *Firme*: Esboroa-se sob pressão moderada mas nota-se nitidamente resistência.
- 4 - *Muito firme*: Só muito dificilmente se consegue esboroar entre os dedos.
- 5 - Extremamente firme: Não se consegue esboroar entre os dedos.

Consistência no estado seco

Como já se referiu, diz respeito à *tenacidade*. Determina-se em solo seco ao ar, procurando-se quebrar entre os dedos polegar e indicador, ou recorrendo às duas mãos, um agregado ou torrão que se retire do perfil:

- 0 - *Solta*: Não coerente.

- 1 - *Branda*: Desfaz-se em pó ou grãos individuais sob pressão muito ligeira.
- 2 - *Ligeiramente dura*: Quebra-se facilmente entre os dedos.
- 3- *Dura*: Difícilmente se consegue quebrar entre os dedos, mas pode quebrar-se com as mãos sem dificuldade.
- 4 - *Muito dura*: Não se pode quebrar entre os dedos, mas consegue-se quebrar com as mãos embora dificilmente.
- 5 - *Extremamente dura*: Nem com as mãos se consegue quebrar.

Cimentação

Em certos solos podem encontrar-se glébulas, massas ou crostas cimentadas irreversivelmente por substâncias como carbonato de cálcio, sílica ou óxidos de ferro e/ou de alumínio, cuja consistência é pouco ou nada alterada pelo humedecimento.

Essas formações são consideradas à parte, expressando-se a sua consistência em termos do grau de cimentação que apresentam: *fracamente cimentada*, *fortemente cimentada* e *endurecida*, conforme se podem ou não quebrar com as mãos ou com o auxílio de um martelo.

8.1.3. INFLUÊNCIA DOS CONSTITUINTES DO SOLO NA CONSISTÊNCIA. INTERESSE DA CONSISTÊNCIA DO SOLO

A maior ou menor intensidade da manifestação das diversas formas de consistência depende essencialmente da textura do solo, da natureza dos colóides minerais, do teor em matéria orgânica e do estado disperso ou floculado dos colóides, e está intimamente relacionada com a estrutura.

No caso extremo das areias, não se verifica praticamente adesividade nem plasticidade e, nos estados húmido ou seco, a consistência é sempre muito fraca, podendo descrever-se em ambos os casos como solta. A adesividade é devida essencialmente a colóides minerais. O limo e os minerais de argila são muito plásticos.

De maneira geral, a consistência tende a aumentar com a proporção de argila e a diminuir com o teor em matéria orgânica.

O tipo de argila influi extraordinariamente na consistência. Assim, muitos *Solos Ferralíticos*, apesar de muito argilosos, são muito friáveis ou friáveis no estado húmido e brandos

no estado seco, devido à influência dos "óxidos" de ferro e de alumínio. Em contrapartida, cerca de 20% de argila sialítica, sobretudo se incluir esmectites, podem bastar para determinar consistência muito firme no estado húmido e dura no estado seco. Porém, se o teor em matéria orgânica for elevado e, em particular, se existir agregação granulosa ou grumosa, a consistência nestes estados poderá ser muito menor, chegando a friável no estado húmido e branda no estado seco, para teores de argila superiores ao indicado.

Os *Solos Sódicos* (não salinos), quando argilosos, são os que apresentam graus mais elevados de consistência.

O calcário, do mesmo modo que os "óxidos" e a matéria orgânica, tende a reduzir a consistência do solo.

Tanto o limite superior como o limite inferior de plasticidade aumentam com a proporção da argila, mais acentuadamente o limite superior. Consequentemente, o número de plasticidade aumenta com a proporção de argila. As argilas do tipo 2:1 têm limites de plasticidade mais altos e maior número de plasticidade do que as argilas ferralíticas. Para teores de argila inferiores a cerca de 10%, no caso das argilas do tipo 2:1, e menores que uns 20%, no caso das ferralíticas, o número de plasticidade é muito pequeno.

Considerando solos com um dado conteúdo em argila e sendo esta do mesmo tipo, o aumento do teor de matéria orgânica eleva os dois limites de plasticidade, mas só ligeiramente aumenta o número de plasticidade. Assim, a adição de matéria orgânica aos solos estende a condição de friabilidade até teores de água mais altos, o que é vantajoso do ponto de vista prático.

O conhecimento dos diversos parâmetros caracterizadores da consistência tem considerável interesse no âmbito da Agricultura, em relação aos trabalhos de mobilização do solo.

Para teor de água inferior ao limite de contracção, em que o solo está seco, a mobilização de solos de textura fina e mesmo muitos com textura média é difícil, exigindo grande esforço físico; além disso exerce acções de corrosão, esmagamento e até de pulverização da massa do solo, nomeadamente dos próprios agregados, o que é negativo do ponto de vista das condições físicas. Com o solo no domínio plástico (muito húmido a molhado), o excesso de água faz com que haja amassamento pela mobilização; o solo tende assim a adquirir uma estrutura laminar e compactada, em particular quando a proporção de argila é elevada. A mobilização deverá então fazer-se quando o solo manifeste friabilidade (de forma mais favorável no ponto em que as

curvas de coesão e de adesão se cruzam), pois trata-se de uma zona de fácil rotura da massa do solo, sem se verificarem os inconvenientes anteriores, na qual, portanto, é possível "fabricar" no solo grânulos mais ou menos finos. Excepcionalmente, interessando uma "lavoura moldada", a mobilização do solo poderá realizar-se na zona inicial do domínio plástico, em que as forças de adesão ainda são relativamente pequenas; todavia, será preciso evitar sempre que o solo atinja o ponto de adesividade.

Um número de plasticidade baixo e um índice de friabilidade elevado indicam, em geral, facilidade de mobilização, sem riscos de deterioração física do solo. Um solo com tais características diz-se, vulgarmente, que é um solo com boa "sazão".

8.2. EXPANSIBILIDADE E CONTRACTIBILIDADE DO SOLO

A expansibilidade e a contractibilidade referem-se à capacidade do solo, respectivamente, para aumentar de volume por absorção de água e para o reduzir quando se verifica a sua secagem. Deve-se, a primeira, ao desenvolvimento de películas de água entre as partículas de solo com o humedecimento, o que determina o afastamento destas, e portanto, o aumento do volume aparente do solo; a contractibilidade resulta do desaparecimento dessas películas quando o material perde água, com a consequente aproximação das partículas entre si e, deste modo, a diminuição do volume aparente do solo.

Estas propriedades são típicas dos colóides do solo. Logo, a expansibilidade e a contractibilidade do solo dependem principalmente da textura, do teor de matéria orgânica, da natureza dos colóides minerais e orgânicos e da proporção relativa dos catiões de troca.

De maneira geral, a expansibilidade da argila aumenta com o valor da relação molecular sílica-sesquióxidos. As esmectites são tipicamente expansíveis; têm, por isso, muito maior expansibilidade do que a argila caulinítica. As substâncias húmicas também variam bastante de volume com o seu teor em água, mostrando-se mesmo mais expansíveis do que as esmectites. Dos catiões de troca, o Na^+ é o que determina maior expansibilidade.

Nos solos com apreciável proporção de minerais de argila expansíveis, a variação de volume com o teor de água torna-se evidente pelo fendilhamento pronunciado da sua superfície (e até razoável profundidade) que apresentam em tempo seco. Nos solos orgânicos, o nível da superfície desce consideravelmente quando secam.

Humedecendo o solo depois da secagem, o volume que atinge, para qualquer teor de água, é sempre superior ao que tinha, para igual teor de água, durante o processo de secagem; se se deixar secar de novo, o volume mínimo que atinge é superior ao volume a que se reduzira durante a anterior secagem. A alternância de processos de humedecimento e secagem aumenta assim a porosidade e reduz a consistência do solo, contribuindo para a formação de agregados.

A expansibilidade/contractibilidade de um solo pode quantificar-se pela medição do chamado *coeficiente de extensibilidade linear* (Coefficient of Linear Extensibility) - correntemente designado valor de COLE -, que se define como o quociente da diferença entre o comprimento de um torrão húmido, à tensão de 1/3 de bar (L_m), e seco ao ar (L_d), por este último comprimento:

$$COLE = \frac{L_m - L_d}{L_d}.$$

Pode-se calcular a partir das densidades aparentes de torrões naturais, revestidos com uma cobertura plástica especial, medidas em torrões húmidos (D_{apm}) e secos (D_{apd}) nas condições anteriores:

$$\frac{D_{apd} - D_{apm}}{D_{apm}} = COLE.$$

Estima-se igualmente pela contracção observada numa amostra de solo que, à capacidade de campo, tenha sido colocada num molde e de seguida seja seca ao ar.

8.3. COMPACIDADE DO SOLO

Para os físicos do solo, a *compacidade do solo* é usualmente definida como o quociente do volume real da fase sólida do solo (V_s) pelo volume aparente que lhe corresponde (V_{ap}):

$$\text{Compacidade} = \frac{V_s}{V_{ap}}$$

Assim considerada, a compacidade depende essencialmente do tamanho, forma e quantidade das partículas sólidas presentes. De uma maneira geral, como é óbvio, misturas de partículas de

diferentes tamanhos conduzem a maiores compacidades do que conjuntos de partículas do mesmo tamanho (ou aproximadamente o mesmo).

Para os pedologistas com a formação de morfologistas de campo, a compacidade é não só uma medida de V_s/V_{ap} mas envolve também, de certo modo, a manifestação das forças de coesão e adesão desenvolvidas pela massa do solo, isto é, a consistência.

Segundo esta óptica, a compacidade avalia-se pela resistência que os solos oferecem à penetração de um determinado objecto, muito embora ela não seja a única causa que se opõe a essa penetração. Em boa verdade, esta depende igualmente da estrutura do solo, do teor de humidade e do próprio objecto utilizado, a somar a todos os parâmetros envolvidos na compacidade em sentido estrito a na consistência.

A compacidade dos horizontes ou camadas é normalmente avaliada no campo, quando da observação dos perfis pedológicos, pela maior .ou menor resistência que o solo oferece à escavação com um sacho, um martelo de pena ou um canivete. Para padronização das observações, costumam-se considerar os seguintes cinco graus de compacidade, sendo indispensável especificar o teor de humidade do solo quando se faz a descrição do perfil:

1. *Mínima*: Quando não se sente praticamente resistência à escavação, como tipicamente sucede em areias soltas.
2. *Pequena*: Quando se sente leve resistência à escavação, que no entanto se faz com facilidade.
3. *Média*: Quando se sente nítida resistência, mas a escavação pode ainda fazer-se com relativa facilidade.
4. *Grande*: Quando para escavar é necessário considerável esforço.
5. *Muito grande*: Quando quase se não consegue escavar.

Podem encontrar-se formações cimentadas que não se conseguem mesmo escavar. Quanto à compacidade, tais formações designar-se-ão impenetráveis.

É possível uma quantificação da compacidade, conduzindo a resultados relativamente rigorosos, pela utilização de aparelhos vulgarmente conhecidos por *penetrómetros*.

Há vários tipos de penetrómetros, desde modelos simples, como o penetrómetro de bolso (Fig.10.2), até modelos mais complexos (Fig.10.3), inclusive modelos em que as medições são feitas electronicamente e com registo contínuo dos respectivos valores. O seu princípio de

funcionamento, todavia, é basicamente o mesmo: de um modo geral, os penetrómetros medem em escala convenientemente calibrada, através de um dispositivo dinamométrico, a resistência à penetração desenvolvida pelo solo quando se empurra para dentro dele, sempre com a mesma pressão, uma haste de forma adequada que constitui o órgão activo do aparelho. Esta haste possui a forma de um cone ou cilindro, com secções tendo diâmetros muito variados, dela se introduzindo no solo sempre uma determinada e mesma extensão.

A compacidade, além de importante como característica definidora dos diferentes tipos de solo, tem o maior interesse agronómico pelas implicações que apresenta do ponto de vista cultural. A compacidade determina o menor ou maior esforço físico que será preciso desenvolver para efectuar a mobilização do solo e, como tal, dela depende a escolha da maquinaria agrícola mais adequada para o efeito. Por outro lado, pela sua relação com a porosidade (proporção do total de vazios e respectivos diâmetros), influi também acentuadamente no desenvolvimento das raízes das plantas, além da própria emergência das plântulas, e, do mesmo modo, afecta de forma muito marcada a infiltração, a retenção e os movimentos da água no solo, bem como o arejamento.

8.4. COMPRESSIBILIDADE DO SOLO

Por *compressibilidade do solo* entende-se a diminuição do volume aparente do solo sob a acção de cargas aplicadas.

Quando se aplica uma carga ao solo, a pressão que sobre este se exerce transmite-se, por um lado, de partícula a partícula sólida e, por outro, através da água que se encontra nos vazios. Devido a esta pressão a água tende a escoar-se, mais ou menos lentamente conforme a permeabilidade do material, pelo que se processa um reajustamento das partículas sólidas, intervindo também neste reajustamento a compressibilidade da fase gasosa do solo. O reajustamento das partículas sólidas verifica-se também em solos secos, sempre que as cargas aplicadas sejam suficientemente fortes para vencer a coesão dos agregados.

Em consequência da compressibilidade, verifica-se um rearranjo estrutural do solo com redução da respectiva porosidade. Há, portanto, compactação do solo, com todas as implicações culturais daí resultantes.

É muito variável a compressibilidade dos solos agrícolas. As cargas estáticas que os solos podem suportar sem sofrerem significativa compactação podem ser da ordem de 1-2 kg cm⁻² ou então descenderem a valores de cerca de 0,5 kg cm⁻² ou mesmo menores; a carga máxima admissível em solos orgânicos situa-se em apenas 0,1 kg cm⁻².

O conhecimento da compressibilidade é muito importante agronomicamente, pois permite orientar o agricultor na escolha da maquinaria mais adequada a utilizar em cada tipo de solo.

PRINCIPAL BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Botelho da Costa, J.V. 1975 - *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. (Twelfth Edition). Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. (Fourteenth Edition revised). Pearson International Edition, Upper Saddle River, New Jersey.
- Evans, C. (s.d.). Particle density. *In Techniques for measuring soil physical parameters*. Advisory Paper no. 18. ADAS, MAFF, London. p. 45-46
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Hughes, A. D. (s.d.). Bulk density. *In Techniques for measuring soil physical parameters*. Advisory Paper no. 18. ADAS, MAFF, London. p. 38-44.
- Klute, A. (Ed.). 1986 - *Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Inc. and Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison.
- Marshall, T. J., Holmes, J.W. & Rose, C. W. (1996). *Soil Physics*. Third Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (Ed.). 1975 - *Soil Physical Conditions and Crop Production*. Technical Bulletin 29. Her Majesty's Stationery Office. London.
- SSS. 1951 - *Soil Survey Manual*. Agricultural Handbook no.18. U.S. Department of Agriculture. Washington.