

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA**

**APONTAMENTOS SOBRE A CONSTITUIÇÃO E AS
PROPRIEDADES DOS SOLOS**

Por

Manuel A. V. Madeira & Rui Pinto Ricardo

**Lisboa
2017/2018**

Nota preliminar

Pretende-se com os presentes apontamentos disponibilizar um meio de apoio ao estudo de matérias respeitantes à constituição e propriedades do solo e constantes do programa da unidade curricular Solos (Licenciaturas em Engenharia Agronómica e Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais), bem como do módulo Solos da unidade curricular Solos e Nutrição Vegetal (Licenciaturas em Engenharia do Ambiente e Arquitectura Paisagista) e ainda de módulos de outras unidades curriculares. O texto constitui uma actualização da versão preliminar dos “Apontamentos de Pedologia I”, elaborada por Rui Pinto Ricardo, a qual por seu turno era baseada no Livro “Caracterização e Constituição do Solo”, de Joaquim Botelho da Costa, e que desde 1975 sempre serviu de base ao ensino dos aspectos inerentes à constituição e propriedades do solo no Instituto Superior de Agronomia.

Os presentes apontamentos correspondem, portanto, a uma revisão dos textos indicados, procurando-se com eles actualizar os conceitos científicos que, entretanto, sofreram marcada evolução e, ao mesmo tempo, simplificar as matérias que parecem evidenciar maior complexidade na respectiva apresentação. Para o efeito recorreu-se à introdução de numerosa grafia para facilitar a explanação e compreensão das matérias. Mais, introduziram-se anexos com textos desenvolvidos ao longo de décadas e que têm sido utilizados como guião das aulas práticas das disciplinas congéneres precedentes, bem como alguns protocolos analíticos seguidos no Laboratório de Solos do Instituto Superior de Agronomia.

1 - INTRODUÇÃO AO ESTUDO DO SOLO

1.1 - CONCEITO DO SOLO

A superfície da crosta terrestre é genericamente constituída por um *continuum* de material não-consolidado - conhecido como *rególito* -, interrompido em maiores ou menores extensões pelas massas de água (mares, rios, lagos, glaciares), pelos afloramentos rochosos, por materiais turfosos e, ainda, por escarpas abruptas que podem limitar certas formas de relevo de uma dada região. O *rególito* corresponde à globalidade das formações rochosas móveis e, no respeitante às rochas consolidadas, identifica-se com o manto incoerente observado sobre elas que se forma em resultado da respectiva alteração ou meteorização, apresentando, como consequência, uma espessura bastante variável (Figura 1), desde poucos centímetros a vários metros (Brady & Weil, 2008).

Na superfície da Terra existem *solos minerais* e *solos orgânicos*. O solo mineral (daqui em diante referido apenas por solo) encontra-se integrado no *rególito* e exibe, na generalidade, espessura relativamente pequena. É assim também quase um *continuum* da superfície terrestre, tal como o *rególito*, podendo abranger a totalidade deste ou limitar-se apenas à sua parte superior. Qualquer que seja o caso, o solo respeita apenas à porção mais superficial da zona exterior da crosta, representando uma fina película comparativamente a esta (“pele” do planeta).

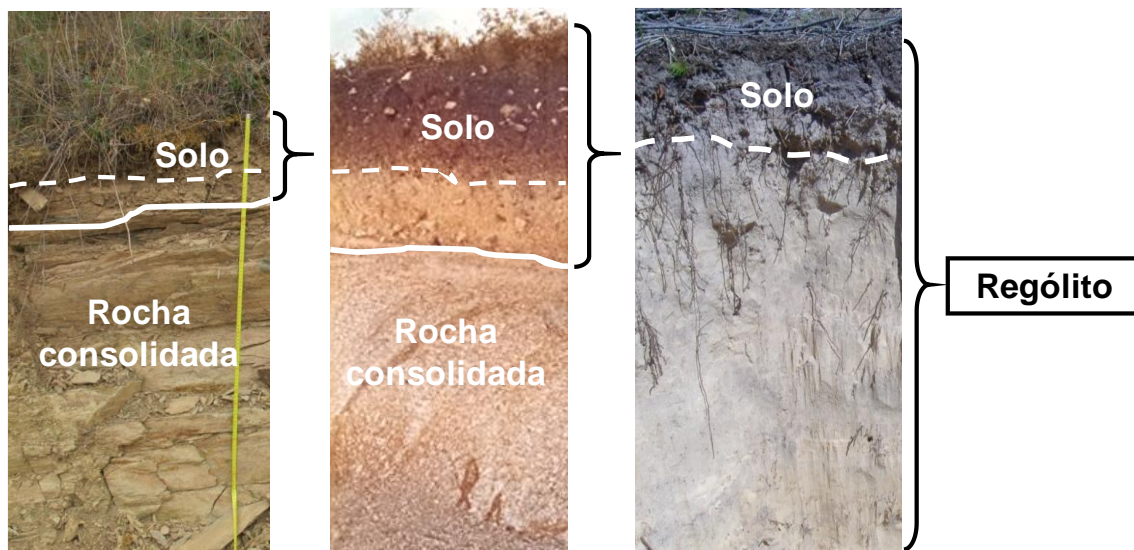


Figura 1 – Exemplos de diferentes espessuras do rególito e da localização do solo no mesmo: o traço contínuo separa o rególito da rocha consolidada; o tracejado indica o limite inferior do solo no rególito.

O conceito de solo evoluiu de forma acentuada ao longo da história da Humanidade. A concepção moderna e científica de solo só começou a ser elaborada em 1874 quando o professor russo Dokutchaiiev procedeu à observação de solos em grandes extensões geográficas, com variações do ponto de vista geológico, climático e também quanto à natureza dos outros factores ambientais. Em consequência, o solo começou a ser considerado não como simples produto de meteorização das rochas, mas, sim, como resultado dessa meteorização e da acção de outros factores, entre os quais se contam o clima, o relevo e os organismos. E assim surge o conceito moderno de solo (conceito pedológico), por ter posto em evidência que a constituição e propriedades dos solos não se devem apenas às rochas, ou a qualquer outro factor do meio visto de forma isolada, mas sim a um grupo de factores actuando conjuntamente. Nesta óptica, os constituintes e as características de um solo, reflectem a dinâmica da paisagem de que faz parte, e a sua génese e evolução é coincidente com a da própria paisagem. Deste modo, o solo é um *elemento da paisagem*¹ (Figura 2).

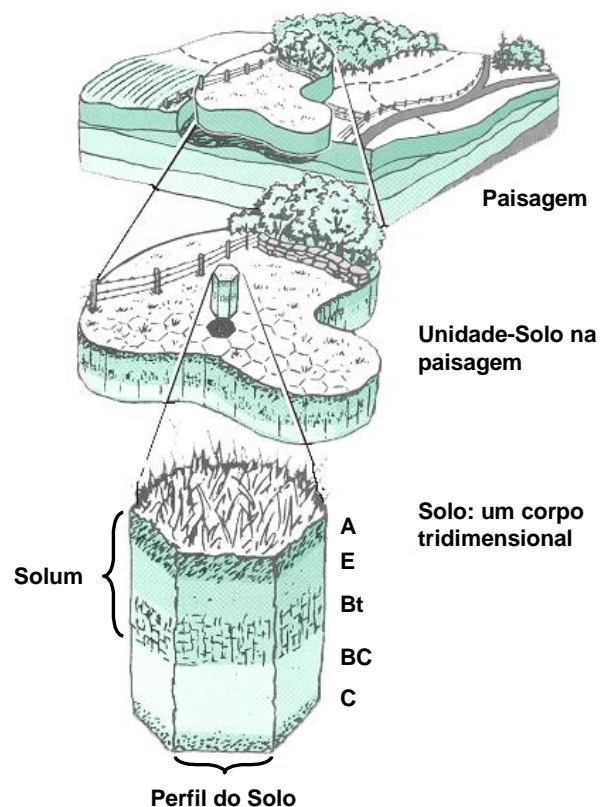


Figura 2 – Representação esquemática do solo (e perfil) e seu enquadramento numa unidade de solo e na paisagem (adaptado de Brady & Weil, 2008)

¹ O termo solo (*soil*) não deve ser confundido com o termo terra (*land*). O solo é uma entidade viva que é uma das componentes da terra; ao passo que a terra consiste de solos, rochas, relevo, corpos de água e vegetação (Lal, 2010).

O solo não é uma simples mistura de materiais, mas antes um *corpo natural independente e organizado da superfície terrestre, resultante da acção integradora do CLIMA e dos ORGANISMOS vivos (vegetais e animais) sobre as rochas – ROCHA - MÃE* -, acção essa que é condicionada pelo **RELEVO** e se faz sentir ao longo do **TEMPO**. O solo tem assim uma génese definida, ocupando posição autónoma no conjunto das formações da crosta terrestre. Apresenta simultaneamente origem geológica e origem biológica, pelo que a parte do *rególito* que não evidencie a influência de organismos vivos (*factor biótico*), considerar-se-á apenas como simples material geológico e não como verdadeiro solo. De acordo com este conceito, o solo é uma entidade tridimensional e a que corresponde, em corte vertical, um determinado *perfil*. No perfil do solo distinguem-se diferentes camadas mais ou menos distintas (os *horizontes*) cujas características são o reflexo da acção conjugada dos cinco factores acima especificados (*factores de formação do solo* ou *factores pedogenéticos*). A estes factores devem-se adicionar as acções antropogénicas, dado que o **HOMEM** intervém no solo dos diferentes ecossistemas quando procede á sua utilização. O solo representa, por conseguinte, uma resultante do conjunto de factores que actuaram na sua formação, constituindo um sistema de natureza dinâmica e em evolução contínua.

Considera-se que, em geral, o solo só existe desde que seja evidente a actuação dos respectivos factores de formação, isto é, sempre que haja manifestação clara da diferenciação de um perfil de solo, traduzida pela presença de horizontes claramente expressos. Como as características e evolução de muitos solos dependem do seu sistema de utilização, o solo deve considerar-se em sentido lato como "a colecção de corpos naturais da superfície terrestre, em certas áreas modificados ou mesmo feitos pelo homem a partir de materiais terrosos, contendo matéria viva e suportando ou sendo capazes de suportarem plantas ao ar livre" (SSS, 2003).

O solo desenvolve-se, pois, em profundidade, desde a superfície (na interface com o meio aéreo) até à rocha dura ou, quando esta se encontra muito profundamente, até ao limite em que ainda se manifeste actividade biológica - geralmente o limite atingido pelas raízes das plantas nativas perenes. O solo engloba assim a totalidade dos horizontes diferenciados em resultado de interacções, ao longo do tempo, dos organismos vivos, clima, rocha, relevo e as próprias acções antropogénicas. Por consequência a sua espessura é, em geral, muito variável e pode exceder um metro. À luz dos conhecimentos actuais, há sempre interesse em considerar o solo de acordo com a totalidade da sua espessura, mesmo que apenas se tenha em mente a produção de

plantas herbáceas. Com efeito, as funções gerais do solo dependem não só das características até à profundidade de 25-30 cm (horizonte superficial) mas também daquelas que se manifestam em todos os horizontes do perfil do solo e inclusivamente no respectivo material originário.

Quanto aos *solos orgânicos*, eles são constituídos sobretudo por materiais orgânicos, apresentando obviamente uma determinada espessura mínima que é função da natureza do substrato mineral em que assentam.

1.2 - MODO DE FORMAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DO SOLO MINERAL

1.2.1 Noção geral sobre o modo de formação do solo

A observação e descrição dos solos fazem-se com facilidade a partir de cortes naturais existentes no terreno ou das paredes de covas abertas propositadamente para tal fim, as quais correspondem a representações dos solos a duas dimensões (Figura 3). Quer dizer, um perfil de solo corresponde, portanto, a uma secção vertical do mesmo (Figuras 2 e 3). Na realidade, a descrição de um solo inclui algumas propriedades que podem ser observadas nos simples horizontes ou camadas do perfil; mas há outras que implicam observações nas três dimensões.

Os perfis dos solos diferenciam-se como consequência da intervenção de *processos de formação do solo* ou *processos pedogenéticos*. Designa-se *horizonte* do solo toda a camada individualizada no perfil, com limites algo irregulares mas em geral aproximadamente paralelos à superfície do terreno, que se diferencia de outras adjacentes por várias características e propriedades resultantes da actuação, no próprio local em que o solo se encontra, dos *processos gerais de formação do solo* ou da *pedogénese*. Porém, nem todas as camadas susceptíveis de observar num perfil de solo constituem obrigatoriamente horizontes. Considera-se que certa espessura distinta do perfil é uma simples *camada*, em vez de horizonte, desde que a sua individualização tenha resultado de acções puramente geoquímicas ou geológicas, com total exclusão de qualquer intervenção pedogenética.

O perfil do solo considera-se como o conjunto de horizontes e camadas observadas num corte vertical do terreno, estendendo-se desde a superfície até à rocha dura ou, caso esta se encontre a grande profundidade, até uma profundidade de 1 a 2 metros, em que ainda se faça sentir a actuação dos organismos vivos.

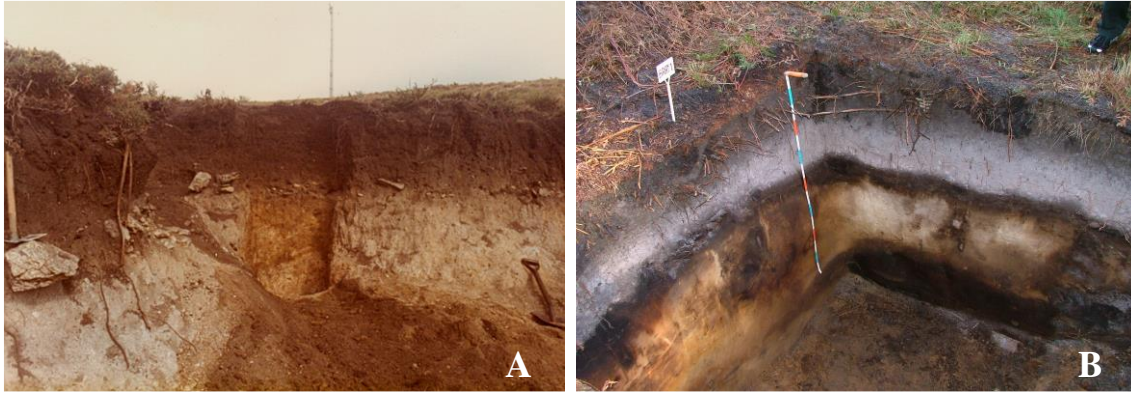


Figura 3 - Exemplos de perfis de solos. A – Serra do Gerês, Portugal; B – Região das Landes, França.

A diferenciação de horizontes no perfil do solo reflecte a acção integradora dos factores de formação do solo (clima, rocha, relevo, organismos vivos, ser humano e tempo). A formação de um solo mineral resulta essencialmente da acção convergente de três processos fundamentais - os *processos gerais da pedogénese* – que a seguir se discriminam (Figura 4).

- (i) Meteorização das rochas conduzindo à formação de um *material originário*, o qual se caracteriza por determinado complexo de alteração. A rocha-mãe representa o tempo zero da formação do solo. Sujeita a acções físicas, químicas e biológicas, a rocha meteoriza-se sofrendo profundas transformações, as quais se vão tornando progressivamente mais evidentes com o decorrer do tempo. Nas fases iniciais da sua diferenciação o perfil apresenta apenas um esboço de horizontes, determinando solos pouco evoluídos, com características ainda muito próximas das da rocha-mãe. Posteriormente, em resultado da persistência daquelas acções e da intervenção de outros processos, o perfil desenvolve-se de forma progressiva, distinguindo-se nele horizontes mais nitidamente expressos. Pode assim definir-se um grau de evolução para os solos a partir da natureza dos horizontes que constituem o respectivo perfil.
- (ii) Acumulação e transformação da matéria orgânica proveniente sobretudo da vegetação (resíduos correspondentes às raízes e à parte aérea), processos estes que se encontram intimamente associados à intervenção dos organismos ou *factor biótico*.
- (iii) Migração de constituintes minerais e/ou orgânicos, de um para outro horizonte ou camada do perfil ou mesmo para o seu exterior.

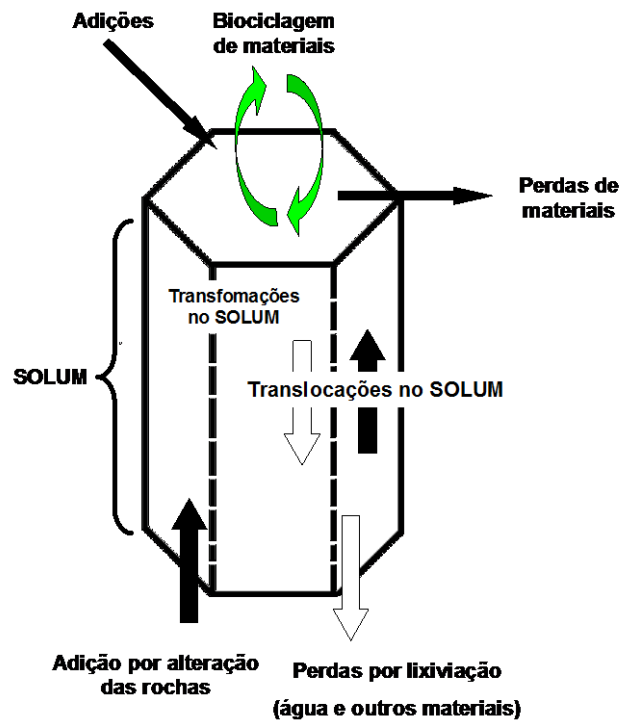


Figura 4 – Representação esquemática dos processos gerais de formação do solo (adaptado de Brady & Weil, 1999)

Estes três processos fundamentais são em geral considerados separadamente, por uma simples questão de sistematização dos conhecimentos. Porém, na generalidade dos solos eles actuam em paralelo e influenciam-se mutuamente de forma mais ou menos marcada. Com efeito, a vegetação instala-se nas rochas logo no começo da sua meteorização, primeiro em formas vegetais rudimentares (Figura 5) e depois, com o progresso da mesma, em comunidades sucessivamente mais complexas. Assim, a matéria orgânica faz sentir a sua acção desde o princípio da meteorização, influenciando esta mais ou menos intensamente e dependendo dela quanto à sua quantidade e características. Por outro lado, os produtos de alteração da parte mineral como os da decomposição da fracção orgânica, participam também imediatamente no processo de translocação, activando os processos anteriores e determinando níveis de diferenciação no material meteorizado. O perfil do solo, conseqüentemente, começa o seu desenvolvimento praticamente no início da meteorização e, a não ser em situações muito particulares, não se pode pensar na formação de um complexo de alteração à margem da diferenciação do próprio perfil do solo.



Figura 5 – Rocha granítica colonizada por líquenes

A distinção entre meteorização (considerada apenas como processo geoquímico ou geológico) e os outros dois processos (muitas vezes tidos como os verdadeiros processos de formação do solo ou de pedogénese), que frequentemente se pretende estabelecer rigidamente, é de todo impossível e de natureza puramente especulativa. O que se designa por *processo pedogenético* ou *processo de formação* do solo pode considerar-se como uma combinação particular dos três processos gerais referidos, ocasionando em acção conjunta múltiplas reacções e outros processos com certa especificidade, responsáveis pela diferenciação do solo num determinado sentido.

1.2.2 Perfil do solo: nomenclatura de horizontes

Considera-se um *horizonte mineral*, quando o conteúdo de matéria orgânica for inferior aos limites indicados para horizontes orgânicos. *Solo mineral* é aquele em cujo perfil predominam os horizontes minerais, sendo com frequência os únicos existentes; há, contudo, solos minerais, evidentemente, que também podem apresentar horizontes orgânicos.

Para mais facilmente descrever e caracterizar os solos é conveniente adoptar para os horizontes uma nomenclatura que seja, tanto quanto possível, de uso universal. Existem, no entanto, diferenças mais ou menos acentuadas na simbologia usada de país para país e, com frequência, até dentro de um mesmo país. A nomenclatura que adiante se expõe (Figura 6) é a estabelecida no Manual de Descrição de Solos da FAO (2006), a qual se procura que seja adoptada pelos especialistas de todos os países na tentativa de se tornar uma simbologia internacional, como na realidade se impõe cada vez mais do

ponto de vista científico.

Nesta nomenclatura adoptam-se as letras maiúsculas H, O, A, E e B para indicar os *horizontes principais*. Usam-se além disso os símbolos C e R para especificar camadas igualmente importantes susceptíveis de se encontrarem no perfil. Combinações de duas destas letras indicam *horizontes de transição*. Por seu turno a associação às maiúsculas indicadas, como sufixos, de letras minúsculas, serve para destacar aspectos distintos inerentes aos horizontes principais. A aplicação, do mesmo modo, de números árabes, indica uma subdivisão vertical do respectivo horizonte, devendo esse número seguir sempre uma letra minúscula no caso dos horizontes A e B. Ainda se podem usar os mesmos números árabes, mas então como prefixos, para assinalar a ocorrência de *descontinuidades litológicas*.

O *horizonte H* é um horizonte orgânico, resultante da acumulação de resíduos orgânicos em condições de saturação com água durante períodos prolongados. O *horizonte O* é igualmente de natureza orgânica, mas resultando da acumulação de resíduos orgânicos na superfície do solo na ausência de saturação com água.

Distingue-se um *horizonte orgânico*, desde que se verifique uma das seguintes condições:

- i) Havendo saturação com água durante períodos de tempo prolongados, desde que o horizonte contenha 20% ou mais de matéria orgânica, se a fracção mineral respectiva for destituída de argila; 30% ou mais de matéria orgânica, se a fracção mineral possuir 60% ou mais de argila; teor de matéria orgânica igual ou superior a um valor proporcional compreendido entre 20 e 30 % para os conteúdos intermédios de argila de 0 a 60%.
- ii) Não havendo saturação com água (a não ser apenas durante alguns dias do ano), o horizonte é orgânico desde que contenha 35% ou mais de matéria orgânica, independentemente do teor de argila da respectiva fracção mineral.

Diferentemente dos horizontes H e O (*horizontes orgânicos*), os horizontes A, E e B correspondem a *horizontes minerais* e, como é óbvio, só se podem encontrar em perfis de solos minerais.

Por *horizonte A* entende-se o horizonte mineral formado à superfície ou subjacentemente (quando ocorrem camadas de resíduos orgânicos) e que apresenta em geral acumulação de matéria orgânica intimamente associada com a fracção mineral, sendo por isso mais escuro do que os horizontes seguintes; ou, então, que apresenta uma

morfologia distinta da do material originário mas sem ter propriedades características dos horizontes E ou B.

O *horizonte E* é um horizonte mineral em que se verificou concentração de areia e limo, devido à perda (*eluviação*) de minerais de argila, ferro ou alumínio, isolada ou associadamente. Trata-se, portanto, de um *horizonte eluvial* subjacente a H, O ou A, dos quais difere por menor teor em matéria orgânica e cor mais clara. Em relação ao horizonte B que se lhe segue, distingue-se por apresentar textura mais grosseira e/ou cor mais clara ou menos corada.

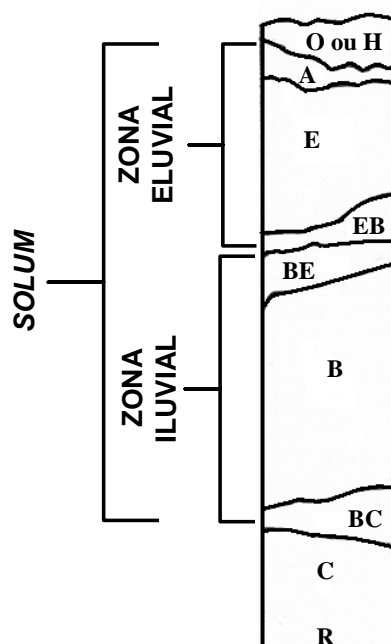


Figura 6 – Representação esquemática dos horizontes e camadas susceptíveis de serem observados em solos evoluídos

O *horizonte B* é um horizonte mineral formado subsuperficialmente, em que a estrutura de rocha foi obliterada na sua totalidade ou está apenas “fracamente evidente” e que se caracteriza por um dos seguintes aspectos:

- (i) - *Concentração iluvial* de minerais de argila, ferro, alumínio ou húmus, isolados ou em combinações, processo esse que se designa por *iluviação*;
- (ii) - *Concentração residual* em geral de ferro e de alumínio, relativamente ao material originário;
- (iii) - Simples *alteração* do material do *rególito* na sua condição original, mas numa extensão suficiente para que se formem minerais de argila e/ou constituintes ferruginosos e aluminosos, ou para que se desenvolva

agregação de tipo granuloso, anisoforme ou prismático.

Assim, o horizonte B pode diferir muito, sendo por isso indispensável qualificá-lo através do recurso às letras minúsculas (como sufixo) para que fiquem devidamente esclarecidas as suas características e bem assim o tipo do respectivo perfil em que ocorra.

O símbolo C adopta-se para identificar as camadas minerais de material não consolidado que se admite tenha dado lugar, a nível superior, aos horizontes minerais correspondentes e que não apresenta propriedades de qualquer horizonte principal. Com frequência é designado, indevidamente, horizonte C. Em geral representa o *material originário* do solo.

O símbolo R usa-se em correspondência com rocha dura e contínua, suficientemente coerente quando húmida de modo a não se poder escavar. Admite-se a presença de fendas ou fissuras, mas estas serão tão pequenas e em número tão reduzido que não possibilitam o desenvolvimento do sistema radical das plantas.

Quando as propriedades de dois horizontes principais presentes contiguamente se fundem considera-se, então, o conjunto como *horizonte de transição*. A sua representação é feita pela simples associação das duas letras maiúsculas correspondentes, indicando-se em primeiro lugar a respeitante ao horizonte principal com que o horizonte de transição é mais parecido (exemplos: horizontes AE, EB, BE, BC, CB, AB, BA, AC e CA).

São ainda susceptíveis de ocorrência horizontes mistos que, como o próprio nome indica, consistem de uma mistura íntima de partes de dois horizontes principais, cada uma delas mantendo bem identificáveis as características próprias dos respectivos horizontes. Representam-se também, como no caso anterior, pela associação das duas letras maiúsculas correspondentes, mas agora separadas por uma barra; em primeiro lugar figura o símbolo do horizonte principal dominante (a título de exemplo: A/B, E/B, B/C).

As letras minúsculas, usadas como sufixos para destacar aspectos particulares dos horizontes principais, podem ser combinadas para indicar propriedades que se manifestam em simultâneo no mesmo horizonte, mas normalmente não mais do que duas letras. Nos horizontes de transição não se aplica esta simbologia complementar, a não ser em casos muito especiais. São as seguintes as letras a que se recorre:

- b. Horizonte soterrado;
- c. Concreções ou nódulos; normalmente usa-se em combinação com outra letra minúscula para indica a natureza do material;
- g. Gleização;
- h. Acumulação de matéria orgânica em horizonte mineral, mas apenas quando se trate de horizonte natural; isto é, não tenha sido perturbado por acção humana;
- k. Acumulação de carbonato de cálcio;
- m. Forte cimentação; normalmente usa-se em combinação com outra letra minúscula para indicar a natureza do material cimentante;
- n. Acumulação de sódio;
- o. Acumulação residual de ferro e/ou alumínio;
- p. Horizonte perturbado devido a mobilização do solo, pastoreio ou outras actividades humanas, usando-se apenas em associação com o símbolo A;
- r. Forte redução, devido a influência de toalha de água;
- s. Acumulação iluvial de compostos de ferro e/ou de alumínio;
- t. Acumulação iluvial de argila;
- u. Não especificado;
- w. Alteração *in situ*, evidenciada pelo conteúdo de argila, cor e/ou agregação;
- y. Acumulação de gesso;
- z. Acumulação de sais mais solúveis do que o gesso.

Atendendo ao significado das letras minúsculas, a simbologia completa para especificar os diferentes tipos de horizonte B é a seguinte: (i) Bt, Bs, Bh e ainda símbolos em que figurem associadas duas destas letras minúsculas (ou uma delas com qualquer outra), em geral conhecido como *horizonte B iluvial* ou de *acumulação absoluta*; (ii) Bo ou Bws, por muitos autores designado *horizonte B residual* ou de *acumulação relativa*; (iii) Bw, com frequência referido como *horizonte B de alteração, de cor, estrutural* ou de *consistência*.

Os horizontes identificados por simples combinação de letras podem subdividir-se verticalmente, separando-se assim sub-horizontes; numera-se cada um deles consecutivamente de cima para baixo. O número deve seguir sempre uma letra minúscula no caso particular dos horizontes principais A e B; existindo necessidade de tal subdivisão sem haver uma qualificação do respectivo horizonte por letra minúscula, então recorrer-se-á ao sufixo *u* (que indica tratar-se de horizonte não especificado) para

anteceder a numeração a adoptar. A título de exemplo, ilustra-se a seguir o que vem de referir-se: Ah1-Ah2-Ah3; Bw1-Bw2-Bw3; Aul-Au2-Au3; Btl-Bt2-Btgl-Btg2; C1-C2-C3-C4.

Representa-se na Figura 6 um perfil de um solo hipotético com a sucessão de todos os horizontes principais e camadas, incluindo alguns dos horizontes de transição susceptíveis de se observar num *solo mineral*, para assim se visualizar melhor a posição relativa que cada um deles poderá ocupar. Quando a formação do solo envolveu os processos de eluviação - iluviação, distingue-se nele uma *zona eluvial* (constituída pelos horizontes A e/ou E), assim como uma *zona iluvial* subjacente (em correspondência com o horizonte B) onde se dá a acumulação dos constituintes eluviados da parte superior do perfil, isto é, da zona eluvial. Ao conjunto dos horizontes do *solo mineral* atribui-se a designação de *solum*. O *solum* e a camada C (material originário) constituem o rególito que encima as rochas coerentes.

O horizonte A forma-se sempre à superfície ou subjacentemente (por baixo de horizontes H ou O), aliás de acordo com a sua própria definição. Porém, em certos solos pode encontrar-se em profundidade horizontes A, a seguir a B ou mesmo a C; tal é o caso de *solos ditos soterrados*, em que um solo que desenvolveu normalmente os seus horizontes acabou por ser recoberto por uma formação geológica (*soterramento*), a partir da qual se originou novo solo sobre o anterior. Tais situações observam-se com frequência em áreas vulcânicas, nas quais se pode verificar em sobreposição uma sucessão de dois ou mais solos, correspondentes a outras tantas fases de vulcanismo activo, tendo cada um deles formado os respectivos horizontes na sua correcta posição relativa.

Por outro lado, o horizonte B (de formação subsuperficial) em solos que tenham sido erodidos e que, em resultado disso, tenham sofrido *decapitação* por perda dos horizontes orgânicos e/ou A e/ou E (*solos truncados* ou *decapitados*), poder-se-á encontrar à superfície, como o primeiro horizonte do perfil.

Como é evidente, não é obrigatório que a totalidade dos horizontes e camadas consideradas anteriormente (representada de forma simplificada na Figura 6) tenha que estar sempre presente em qualquer perfil observado. Assim, consoante a natureza do solo, o perfil poderá ser do tipo AC, AR, ACR, ABC, AEBC, podendo, pois, dizer-se que o grau de evolução de um solo originado a partir de uma determinada rocha-mãe aumenta de acordo com a sequência anterior (Figura 7). Cada tipo de solo, com efeito, tem o seu perfil representativo, com um determinado conjunto de horizontes, resultante,

como é óbvio, do processo de formação que actuou em função dos respectivos factores de formação do solo.

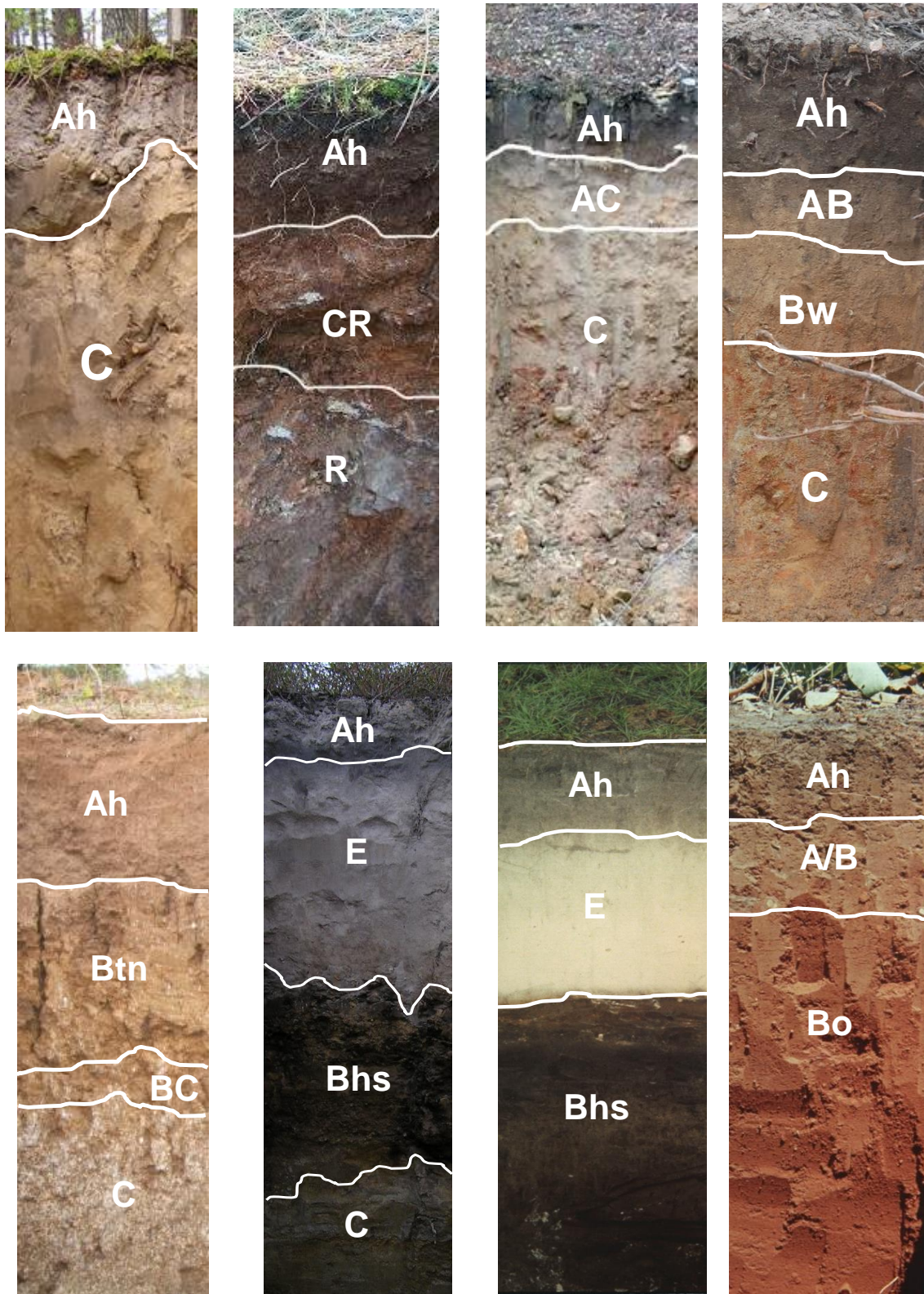


Figura 7 – Exemplos de diferenciação de horizontes e camadas em perfis de vários tipos de solos.

Faz-se frequentemente a distinção entre *perfil natural* e o chamado *perfil cultural*. O primeiro apresenta horizontes (e camadas) originados somente por actuação dos factores pedogenéticos naturais (clima, rocha, organismos, relevo e tempo). O perfil cultural, diferentemente, reflecte a intervenção do factor antrópico (o homem) sobre o solo natural, podendo entender-se como o conjunto constituído pela sucessão de camadas e de horizontes individualizados pela acção do sistema de gestão do solo (acção dos instrumentos de cultivo e das raízes das plantas cultivadas), bem como pelos factores naturais (Hénin *et al.*, 1960).

1.3 CONCEITO DE SOLO ORGÂNICO

No caso dos solos ditos orgânicos o processo de formação respectivo apresenta-se um tanto mais simplificado, encontrando-se praticamente confinado à intervenção de apenas um dos processos gerais: o da acumulação e transformação da matéria orgânica. Trata-se de um processo que ocorre em meio caracterizado por saturação com água e/ou temperaturas muito baixas, em que a existência de condições anaeróbias permanentes determina actividade biológica muito reduzida e favorece assim a acumulação de grandes quantidades de materiais orgânicos, os quais atingem normalmente grandes espessuras.

Considera-se que se está em presença de um *solo orgânico* sempre que o respectivo perfil seja constituído apenas por horizontes orgânicos do tipo H e/ou O, apresentando obviamente uma determinada espessura mínima que é função da natureza do substrato mineral em que assenta. Por convenção adoptam-se as seguintes normas gerais quanto à espessura do perfil:

- i) Qualquer espessura, se o substrato for uma rocha consolidada ou uma camada de elementos grosseiros com os vazios correspondentes também preenchidos por matéria orgânica;
- ii) Uma espessura de pelo menos 40 cm, nos casos em que o substrato não se apresente coerente nem seja uma camada elementos grosseiros.

No que respeita aos *solos orgânicos*, os horizontes que os constituem não podem ser identificados pela simbologia exposta para os solos minerais. Os horizontes em tais solos são convencionalmente distinguidos a partir da superfície por H1, H2, H3 até ao limite de observação ou até ao substrato de natureza mineral sobre o qual o solo orgânico se haja formado.

1.4 CONSTITUIÇÃO E NATUREZA GERAIS DO SOLO

1.4.1 Componentes gerais do solo

Qualquer volume de solo observado com suficiente pormenor, seja um horizonte seja uma camada, é constituído por um conjunto variado de *partículas sólidas* distribuídas de forma mais ou menos complexa (Figura 8) e deixando entre si uma grande diversidade de espaços "livres", designados *vazios* ou *poros*. O solo deve por isso ser considerado como um *meio poroso*, com todas as propriedades inerentes a tal condição. Os vazios não são na realidade espaços livres, porquanto eles encontram-se preenchidos por dois outros componentes do solo importantes, a *água* e o *ar*.

No solo podem então observar-se três fases e quatro componentes principais: (i) uma *fase sólida*, em que se distingue uma parte mineral (*matéria mineral*) e/ou uma parte orgânica (*matéria orgânica*); (ii) uma *fase líquida*, designada correntemente *água do solo*; finalmente, (iii) uma *fase gasosa*, respeitando ao constituinte a que é usual chamar *ar do solo*, o qual constitui a atmosfera do solo que se encontra em correspondência com a atmosfera terrestre. Além dos quatro constituintes gerais referidos, o solo integra uma enorme e variada população de *organismos*.

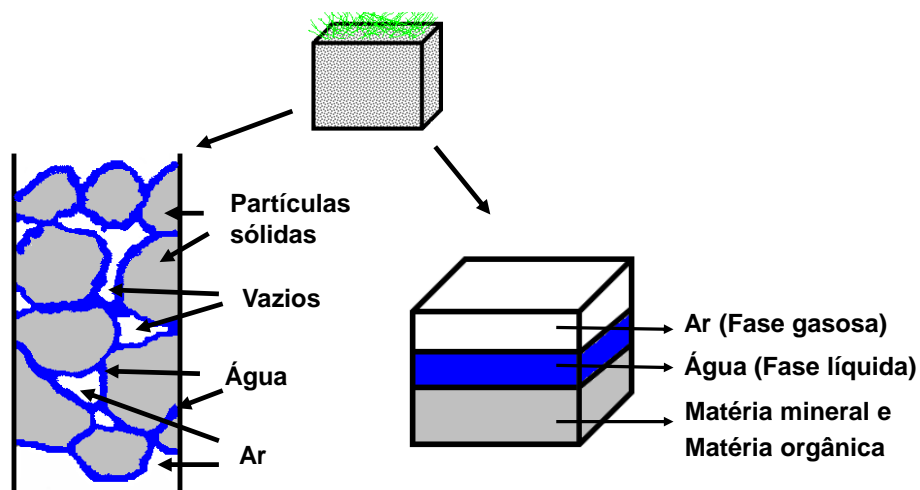


Figura 8 – Componentes e organização geral do solo

Como valores indicativos gerais no horizonte Ah dos solos minerais, dir-se-á, a título exemplificativo, que os constituintes considerados podem ocorrer nas seguintes percentagens (expressas em volume): 50% de fase sólida, sendo na maioria dos casos aproximadamente 45% de *matéria mineral* e 5% de *matéria orgânica*; os restantes 50%, que correspondem à proporção média de vazios, serão então ocupados pelas fases líquida e gasosa, podendo admitir-se cerca de 25% de *água* e 25% de *ar* (Figuras 8 e 9).

As quantidades de água e de ar são interdependentes e apresentam-se por isso muito variáveis, sendo possível para qualquer dos componentes um valor entre 0% e 50%. Em condições extremas poder-se-á ter, de facto, 50% de água e 0% de ar, o que corresponde à situação de solo saturado com água; ou, então, 0% de água e 50% de ar, estando assim o solo completamente seco, situação que, nas condições naturais, não é possível atingir. A situação de 25% de água e 25% de ar, admitida acima, corresponde de forma aproximada a uma capacidade de retenção natural para a água exibida por muitos solos, observável depois de se ter dado o seu humedecimento (por chuva ou rega) e de haver decorrido algum tempo, isto é, quando se atinge a designada *capacidade de campo*.

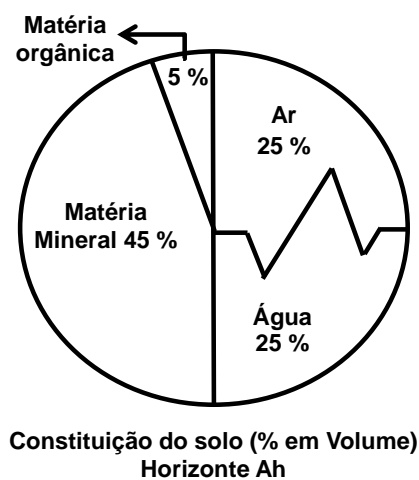


Figura 9 – Constituição geral do solo

A *matéria mineral* compreende uma grande diversidade de fracções granulométricas: partículas muito pequenas, de natureza coloidal (a *argila*), partículas sucessivamente maiores - designadas *limo*, *areia*, *saibro*, *cascalho* e *pedras* – bem como fragmentos de grandes dimensões - *calhaus* e *blocos*.

Estes constituintes são originários da rocha-mãe, uns resultando do respectivo processo de meteorização por neoformação (*minerais secundários*) e outros sendo herdados da própria rocha (*minerais primários*). Uma vez que a larga maioria das espécies mineralógicas que compõem as rochas da crosta são silicatos, os minerais primários observados nos solos com maior frequência são, assim, quartzo, feldspatos, micas, piroxenas, anfíbolos, olivinas. Os minerais secundários, formados por alteração dos anteriores, são também predominantemente silicatos (aluminossilicatos).

O solo é, no que se refere à sua mineralogia, de natureza tipicamente silicatada.

Por conseguinte, do ponto de vista elementar, a composição geral da matéria mineral do solo expressa em óxidos apresenta de forma aproximada as seguintes percentagens (expressas em volume): 75% de sílica, 15% de óxidos de alumínio e de ferro, 8-9% de óxidos de cálcio, de magnésio, de potássio e de sódio e, finalmente, apenas 1-2% de óxidos de todos os restantes 82 elementos naturais constituintes da crosta (Figura 10).

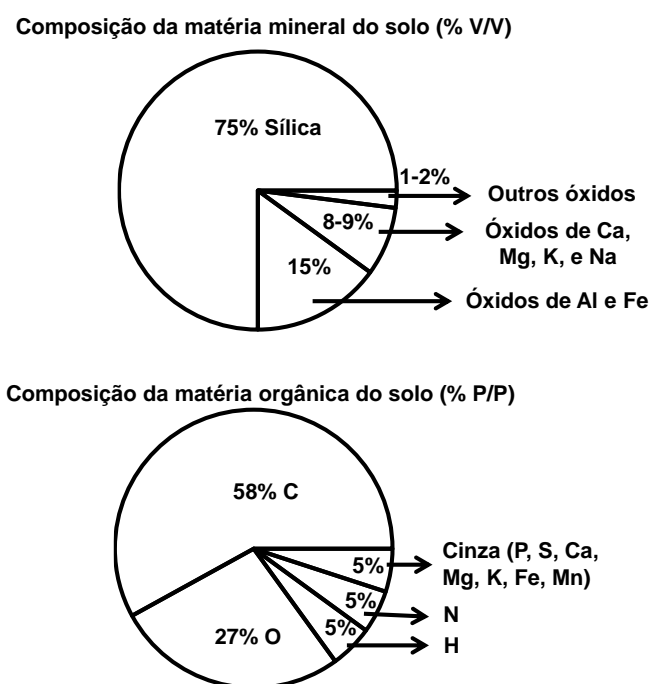


Figura 10 – Composição elementar da matéria mineral e orgânica do solo

A *matéria orgânica* do solo, embora originária predominantemente dos resíduos das plantas, provém igualmente de todos os demais organismos que lhe estão associados. Tem assim uma composição muito variada, na base dos constituintes orgânicos que formam os tecidos vegetais e animais (celulose, hemiceluloses, gomas, monossacáridos e oligossacáridos, lenhina, aminoácidos, péptidos e proteínas, ácidos orgânicos, taninos, lípidos, etc.) e, além destes, também um complexo coloidal muito heterogéneo (o *húmus* ou *substâncias húmicas*) sintetizado a partir das substâncias anteriores por acção dos microrganismos, no qual se distinguem, como principais fracções, *ácidos fúlvicos*, *ácidos húmicos* e *huminas*. Tratando-se de materiais orgânicos, são tipicamente compostos de carbono, oxigénio e hidrogénio (Figura 10), a que corresponde, do ponto de vista elementar, a seguinte composição média geral (massa/massa): 58% de C, 27% de O, 5% de H, 5% de N e 5% de cinza, esta incluindo toda a extensa gama dos elementos correntemente ditos minerais (sobretudo P, S, Ca, Mg, K, Fe, Mn).

A *fase líquida*, impropriamente referida como *água do solo*, é na realidade uma solução aquosa salina em geral muito diluída, também conhecida pela designação de *solução do solo*. Na verdade, trata-se de uma solução que, para um teor de água correspondente à *retenção em condições naturais*, não ultrapassa geralmente, nos solos ditos normais (solos não salinos), uma concentração em electrólitos totais da ordem de $10^{-2} \text{ mol}_c \text{ L}^{-1}$. Tal concentração pode subir, todavia, até $10 \text{ mol}_c \text{ L}^{-1}$ quando a água no solo desce para um valor à volta do *teor de água mínimo*. Em qualquer caso, está-se em presença de concentrações suficientemente baixas para que venha a haver qualquer problema nos solos com o normal desenvolvimento da generalidade das plantas, incluindo as espécies cultivadas. Quer isto dizer que só uma proporção muitíssimo pequena dos elementos constituintes do solo se encontra, pois, no estado solúvel nos solos normais.

A *fase gasosa* do solo (*ar do solo*) contém os mesmos componentes da atmosfera terrestre, embora manifestando diferenças relevantes do ponto de vista quantitativo. Inclui, na grande maioria dos solos, 10-21 % de oxigénio, 0,2-4,5 % de dióxido de carbono (CO_2) e 79-81 % de azoto (expressos em volume), bem como vapor de água (ao nível da saturação) e diversos outros gases (em proporção geralmente diminuta). A grande variabilidade observada na percentagem dos componentes, sobretudo em relação ao oxigénio e ao CO_2 , resulta de poderem existir solos bem drenados e arejados (em que se verificam condições aeróbias) ou solos mais ou menos saturados de água (em que prevalecem condições anaeróbias). A composição do ar do solo encontra-se assim dependente do conteúdo de água do mesmo.

Finalmente há a referir os *organismos* que habitam o solo (sobretudo à custa dos constituintes orgânicos), os quais representam a componente biológica do solo, tão importante como os constituintes anteriores. Compreendem a *microflora do solo* e a *fauna do solo*, distinguindo-se geralmente nesta última uma *macrofauna* (organismos com dimensões relativamente grandes), uma mesofauna e uma *microfauna* (organismos com dimensões submicroscópicas). No Quadro 1 especificam-se alguns dos principais grupos de organismos com frequência identificáveis nos solos.

Na área de um hectare e até à profundidade de 30 cm, os organismos do solo podem atingir uma biomassa de aproximadamente 25 toneladas, sendo mais ou menos 10 toneladas de bactérias e actinomicetas, 10 toneladas de fungos e 5 toneladas de componentes da fauna. A presença tão expressiva de organismos no solo determina que este se manifeste como um poderoso sistema biológico, em consonância com a intensa actividade daqueles. De acordo com Sposito (2008) pode referir-se, a propósito, que 10

gramas de solo podem conter um número de bactérias que só por si iguala a população do Mundo! O solo é, portanto, um complexo ecossistema com uma enorme diversidade de organismos e de espécies (os solos contêm cerca de 98% da diversidade genética nos ecossistemas) que se associam a um elevado grau de diversidade funcional em correspondência com a grande variedade de substratos e de condições de habitat que ocorrem no solo.

Quadro 1 – Alguns dos principais grupos de organismos usualmente presentes nos solos (adaptado de Brady & Weil, 2008)

MICROFLORA	MICROFAUNA (<0,1 mm)	MESOFAUNA (0,1-2 mm)	MACROFAUNA (>2 mm)
Algas	Microartrópodes	Artrópodes (ácaros, colembolos)	Vertebrados (toupeiras, ratos)
Fungos	Nemátodos	Anelídeos (enquitreídeos)	Artrópodes (ácaros, aranhas, escaravelhos, formigas, centopeias, térmitas, colembolos)
Bactérias	Rotíferos		Anelídeos (minhocas)
Cianobactérias	Protozoários		Moluscos (lesmas, caracóis)
Actinomicetas			

Os organismos do solo passam toda ou parte da sua vida no ambiente do mesmo e são cruciais para o ciclo da vida. São responsáveis pela decomposição e transformação dos resíduos orgânicos e acumulação de matéria orgânica no solo e, portanto, pelo ciclo do carbono e nutrientes minerais, pela formação das substâncias húmicas, pela disponibilidade de nutrientes e pelo suporte da vida das plantas – pela organização e estabilidade estrutural do solo; tem especial relevância a simbiose entre fungos e raízes, denominadas micorrizas (endomycorrizas e ectomycorrizas), e entre bactérias e raízes, responsáveis pela fixação simbiótica do azoto. Os organismos são, por isso, determinantes da estabilidade e da resiliência do solo e dos ecossistemas.

1.4.2. Natureza geral e funções do solo

O solo pode ser encarado como um sistema funcional de grande complexidade constituído por uma comunidade de seres vivos e pelo meio abiótico em que essa comunidade vive, comportando-se como um ecossistema, muito embora em escala

bastante mais limitada do que o ecossistema floresta ou pradaria. Com efeito, não faltam em qualquer solo: (a) uma *biocenose*, com todas as teias alimentares inerentes; (b) o respectivo *biótopo*, integrando este os factores climáticos, o substrato mineral e a água.

O solo integra-se harmoniosamente nos ecossistemas terrestres de que faz parte, aos quais corresponde uma comunidade vegetal que se caracteriza por uma dada produtividade primária em correspondência com o respectivo tipo de solo e as condições climáticas vigentes. Isto é, corresponde-lhe uma situação *evolutiva* que envolve determinada energia global com ciclos biogeoquímicos bem definidos.

Nas diferentes condições bioclimáticas, o solo também se identifica, por seu turno, com um determinado modelo de energia, definido este pelos ganhos e perdas de energia inerentes aos múltiplos processos nele envolvidos, nomeadamente trocas de energia solar radiante e energia geotérmica, processos biológicos, meteorização, erosão e deposição de materiais (incluindo simples translocações), acumulação e alteração da matéria orgânica (Figura 4), humedecimento e secagem, aquecimento e arrefecimento, evapotranspiração e outros processos associados com a fase líquida. No solo terão assim lugar fluxos de energia entre os vários componentes e com o exterior e, deste modo, o solo poderá ser considerado como um transformador de *energia* (Buol *et al.*, 1997).

Por fim e como corolário, devem ainda considerar-se os solos *sistemas biogeoquímicos abertos*, em que as trocas de energia (bem como de matéria) se dão com a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera e a litosfera envolventes (Buol *et al.*, 1997). Os fluxos de matéria e de energia no interior dos solos, a partir deles ou para eles, como é óbvio, são muito variáveis no tempo e no espaço. Esses fluxos são determinantes para a diferenciação do perfil do solo, bem como para o desempenho eficiente das múltiplas funções que os solos exercem nos ecossistemas.

A natureza, a complexidade e o funcionamento do solo permitem que o mesmo exerça nos ecossistemas cinco funções principais que são determinantes para o suporte da vida na Terra, a qualidade ambiental e o bem-estar das populações: (a) *ciclo de nutrientes*, (b) *retenção de água*, (c) *biodiversidade e habitat*, (d) *armazenamento, filtração, tamponização e transformação de compostos*, e (e) *disponibilização de estabilidade física e suporte* (Blum, 1993). Estas funções permitem gerar serviços de ecossistemas que permitem a vida na Terra, destacando-se o fornecimento de alimentos, fibra e energia, o sequestro de carbono, a purificação da água e redução da contaminação, a regulação do clima, o ciclo de nutrientes, os habitats para os

organismos, a fonte de recursos farmacêuticos e recursos genéticos, o assentamento de infraestruturas humanas, a disponibilidade de materiais de construção e o património cultural.

O solo é *um meio natural por excelência para o desenvolvimento das plantas terrestres*, fornecendo-lhes o adequado suporte físico bem como a maior parte da água e dos nutrientes de que necessitam. A massa do solo constitui o suporte físico e a ancoragem do sistema radical das plantas; a função respiratória das raízes das plantas depende do arejamento do solo e, por isso, do respectivo sistema de porosidade; devido a esta e à sua organização, o solo retém água e possibilita que as plantas sobrevivam durante períodos prolongados na ausência de precipitação; o solo modera a temperatura ambiente, permitindo o funcionamento normal das raízes; o solo protege as plantas de substâncias fitotóxicas (resultantes da actividade humana, produzidas pelas raízes das plantas e pelos microrganismos, ou por reacções químicas naturais) e por intermédio dos microrganismos é fonte de substâncias estimulantes (tipo hormonas) do crescimento das mesmas; do solo, as plantas obtêm nutrientes tais como azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdénio e zinco (Brady & Weil, 2008).

O solo tem um *papel decisivo na regulação do ciclo hidrológico* e no fornecimento de água (rios, lagos e aquíferos), tanto em quantidade como em qualidade. A água destes sistemas aquáticos circula grandemente na superfície ou no interior do solo. O solo é determinante na partição da água da chuva na crosta terrestre: infiltração e escoamento superficial; associa-se, assim, à disponibilidade de água para as plantas e à ocorrência de enxurradas e inundações. As características do solo numa bacia hidrográfica terão, pois, influência determinante na pureza e quantidade de água que se encaminha para os sistemas aquáticos.

O solo tem *uma elevada capacidade de reciclagem* de resíduos (nomeadamente os orgânicos) e interfere no ciclo de nutrientes; o solo acumula grandes quantidades de C sob a forma de matéria orgânica, com o conseqüente impacto nas mudanças globais, como o denominado efeito de estufa; é um reservatório de materiais “estranhos”, com capacidade para os reter e transformar, evitando a contaminação das camadas profundas por elementos exógenos; contribui, assim, para a depuração de águas.

O solo *constitui o habitat para os organismos* que nele vivem e é sede de uma enorme diversidade biológica. Um pequeno pedaço de solo pode albergar biliões de organismos, pertencendo a uma miríade de espécies, constituindo uma teia trófica

(predadores, presa, produtores, consumidores e parasitas). Tal diversidade decorre da enorme complexidade do espaço poroso, com diferentes estados de humidade e de oxigenação - desde locais saturados e anóxicos a outros fortemente arejados - de temperatura e, principalmente, da quantidade, natureza e distribuição espacial de resíduos orgânicos em decomposição.

O solo é uma *fonte de matéria-prima*, sendo os seus horizontes ou camadas origem de materiais usados nas construções tradicionais (taipa, adobe, tijolo, etc.); aliás, mais de 50% das habitações nas áreas tropicais são construídas com materiais dos respectivos solos; além disso, os horizontes e camadas do solo também têm sido desde a Antiguidade fonte de matéria-prima para a cerâmica utilitária e decorativa. Aliás, a forte associação entre os diversos materiais utilizados na construção e em vários utensílios e os solos argilosos levou o geógrafo Orlando Ribeiro (1986) a designar a região sul do País como a da “civilização do barro”. Como o solo constitui um meio para a implantação de estruturas de vária índole, a estabilidade destas depende das características físicas e mecânicas do solo e das camadas do rególito ou material originário. Riscos naturais associados aos movimentos de massa e avalanches estão também relacionados com as características do solo e do rególito.

O solo também em muitos casos é o local de *assentamento de infraestrutura*. Estas saldaram-se às vezes pela redução do recurso de solo disponível. Além disso, essas infraestruturas levam à selagem do solo e, naturalmente, à eliminação das suas diversas funções. Isto é, a proliferação de infraestruturas – associadas à crescente pressão demográfica e ao desenvolvimento económico – reduz inexoravelmente a disponibilidade de solo a nível global.

1.4.3. O solo e o desenvolvimento sustentável

O solo é o recurso básico subjacente a todos os ecossistemas terrestres, mas, à escala da vida humana, é considerado um recurso finito, não renovável (Brady & Weil, 2008). Em muitas regiões do planeta as actividades humanas têm destruído o solo a uma taxa muito superior à da sua formação por facilitarem a sua degradação por processos como a erosão acelerada, a contaminação, a perda de matéria orgânica, a salinização, entre outros. Entretanto o crescimento populacional e o desenvolvimento económico e social a nível global aumentam inexoravelmente a procura de alimentos e de matérias-primas enquanto a quantidade de solo disponível, pelo contrário, tenderá a reduzir-se

devido à urbanização (e expansão de infraestruturas) e, ainda, à sua eventual degradação. Neste contexto, é crucial aprofundar o conhecimento e a percepção sobre as funções e a gestão do recurso-solo, desde a escala global à escala do ecossistema (FAO & ITPS, 2015). São indispensáveis, portanto, novos conhecimentos e tecnologias para produzir alimentos e biomassa para suportar a Sociedade e, ao mesmo tempo, garantir a qualidade ambiental. Isto é, como tem acontecido ao longo da civilização, é urgente a evolução da “arte” de gerir o solo.

Do que foi dito resulta de todo evidente que a integridade funcional do solo é essencial para que a Sociedade actual possa enfrentar desafios de extrema importância, tais como a mitigação das alterações climáticas, a garantia da segurança alimentar e de disponibilização de serviços dos ecossistemas, a segurança de recursos hídricos, a sustentabilidade energética e a protecção da biodiversidade. É neste contexto que emerge com extrema acuidade a absoluta necessidade de garantir a estabilidade das funções do solo e naturalmente a estabilidade dos seus processos funcionais e a sustentabilidade dos ecossistemas em que se insere (FAO & ITPS, 2015). Quer isto dizer que é imperativo assegurar a *qualidade do solo* ou, seja, a sua capacidade para assegurar as suas funções de modo a garantir o funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas, o bem-estar de uma crescente população, e a qualidade ambiental. Em suma, para garantir o desenvolvimento sustentável.

Adquire, assim, extrema relevância proceder à contínua monitorização e avaliação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, através de indicadores e critérios, como um sistema de aviso da sua qualidade ou, melhor, de indícios de eventuais processos de degradação e de modificações dos seus processos funcionais. Os sistemas de monitorização do solo constituem, pois, um instrumento indispensável para a avaliação dos sistemas de gestão dos ecossistemas na qualidade do solo e, obviamente, na qualidade ambiental – condição indispensável ao desenvolvimento sustentável. O controlo da qualidade do solo constitui um meio de garantir as suas funcionalidades – o que deverá ser o desígnio das tão propaladas medidas de “protecção do solo”.

BIBLIOGRAFIA

Blum, W.E.H. (1993) – Soil protection concept of Europe and integrated soil research. In: H.J.P. Eijsackers & T. Hamer (Eds) *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection, Soil and Environment*, Vol. 1, pp. 37-47. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Botelho da Costa, J. (1975) – *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Brady, N.C. & Weil R. R. (2008) - *The Nature and Properties of Soils*. 14th Edition (revised). Pearson International Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Buol, S.W., Hole, F.D., McCracken, R.J. & Southard, R.J. (1997) - *Soil Genesis and Classification*. 4th Edition. The Iowa State University Press. Ames.
- Cole, D.W. & Rapp, M.R. (1981) - Elemental cycling in forest ecosystems. *In: D. Reiche (Ed) Dynamic Properties of Forest Soils – IBP Synthesis*, Vol. 23, pp. 341-409. Cambridge University Press, Cambridge.
- FAO. (2006) - *Guidelines for Soil Description* (4th Edition). Rome.
- FAO & ITPS. (2015) – *Status of the World’s Soil Resources (SWSR)*. Food and Agricultural Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome.
- Hénin, S., Féodoroff, A., Gras, R. & Monnier, G. (1960) - *Le Profil Cultural. Principes de Physique du Sol*. Société d’Éditions des Ingénieurs Agricoles, Paris. 320 p.
- Hillel, D. (2004) - *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Jenny, H. (1994) - *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. Dover Press, New York. 191p.
- Lal, R. (2011) – Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *Bioscience*, 60: 708-712.
- Pinto Ricardo, R. (1992/93) – *Apontamentos de Pedologia I* (Versão preliminar baseada no livro de J. Botelho da Costa “Caracterização e Constituição do Solo”). Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Ribeiro, O. (1986) – Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico (4^a Edição). Livraria Sá da Costa, Lisboa.
- Soil Survey Staff (SSS). (2014) – *Keys to Soil Taxonomy* (12th Edition). Soil Survey Staff. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington.
- Sposito, G. (2008) - *The Chemistry of Soils* (Second Edition). Oxford University Press. Oxford.
- Van Breemen, N. (1998) – *Plant Induced Soil Changes: Processes and Feedbacks. Developments in Biogeochemistry*, Volume 4. Kluwer Academic publishers, Dordrecht.
- White, R.E. (1987) - *Introduction to the Principles and Practice of Soil Science*. 2nd edition. Blackwell Scientific Publications. Oxford.