

# Constituição e propriedades do solo

Por  
Manuel A. V. Madeira & Rui Pinto Ricardo  
2015/2016

## 6 – ESTRUTURA DO SOLO

### 6.1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

As partículas minerais e orgânicas que constituem o solo podem apresentar-se, quer em arranjo solto, quer em conjuntos interligados e associados em agregados, de forma, tamanho e coerência muito diversos (Figura 1). As propriedades e o comportamento dos solos dependem, por isso, não só das características das partículas elementares constituintes, mas também do modo como tais partículas e os respectivos vazios estão organizados e espacialmente distribuídos.

Por *estrutura do solo* entende-se a característica física do solo definida pela forma, dimensão e arranjo das respectivas partículas e dos vazios a elas associados, considerando-se não só as partículas primárias (também ditas elementares ou individuais) de areia, limo e argila, mas também as partículas compostas, isto é, os *agregados* ou *pedes*.

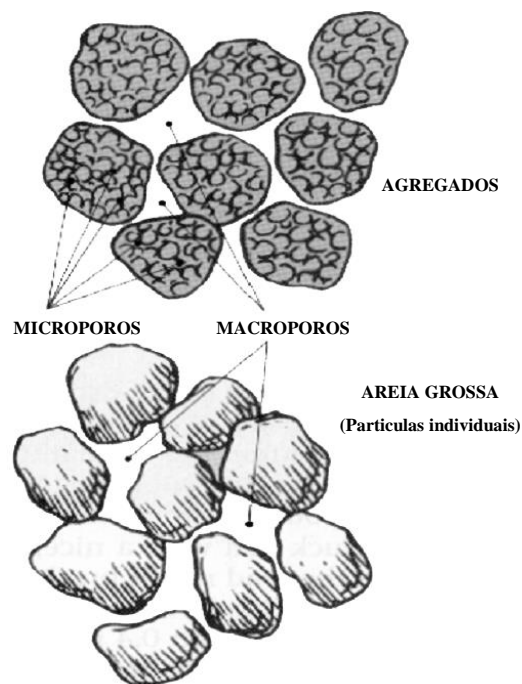


Figura 1 – No solo as partículas constituintes podem apresentar-se individualizadas ou organizadas em agregados (adaptado de Brady & Weil, 1999)

De acordo com esta definição, pode distinguir-se na estrutura a *tessitura* e a *agregação* ou *pedalidade* do solo. A *tessitura* diz respeito apenas ao arranjo das partículas (partículas primárias e agregados) e dos respectivos vazios; a *pedalidade* refere-se à forma, dimensão e arranjo dos agregados. Qualquer solo apresenta uma determinada *estrutura*, já que ele se caracteriza basicamente pela existência de partículas e de vazios com determinadas formas, dimensões e arranjos; todavia pode apresentar, ou não, *agregação* ou *pedalidade*, consoante se observam nele, ou não, agregados ou pedes. Não havendo agregados, diz-se então que o solo não possui agregação ou pedalidade, isto é, que se trata de um *solo apédico*.

Os constituintes do solo diferenciam-se num certo número de elementos estruturais que genericamente se designam *unidades de organização*. A perfeita caracterização da estrutura do solo implica a descrição completa de tais unidades (considerando forma, dimensão e natureza), bem como da respectiva tessitura; além disso é preciso especificar o nível a que essa caracterização corresponde, ou seja, o *nível de organização*.

### **6.1.1. UNIDADES DE ORGANIZAÇÃO**

Consideram-se como unidades de organização os *pedes*, o *fundo matricial* e os *caracteres pedológicos*.

#### **6.1.1.1. Pedes**

*Pedes*, *agregados estruturais* ou simplesmente *agregados* são conjuntos naturais de partículas terrosas (muito frequentemente partículas primárias) em que a ligação das partículas constituintes é mais forte do que a ligação dos agregados uns aos outros.

Podem distinguir-se, *pedes primários*, *pedes secundários*, *pedes terciários*, etc. (Figuras 2 e 3). Os primários, os pedes mais simples susceptíveis de ocorrerem no solo, consistem em conjuntos de partículas elementares de plasma e esqueleto; os secundários e terciários e superiores, correspondem a *agregados compostos* ou *pedes compostos* – os pedes secundários consistindo de pedes primários reunidos em unidades maiores, os terciários representando agregados mais complexos e ainda maiores resultantes da associação dos anteriores, etc.. Nos agregados compostos há pois uma gradação da força de ligação quando se passa das partículas elementares para os agregados primários, destes para os secundários e assim sucessivamente, como é lógico, diminuindo a força nesse mesmo sentido.

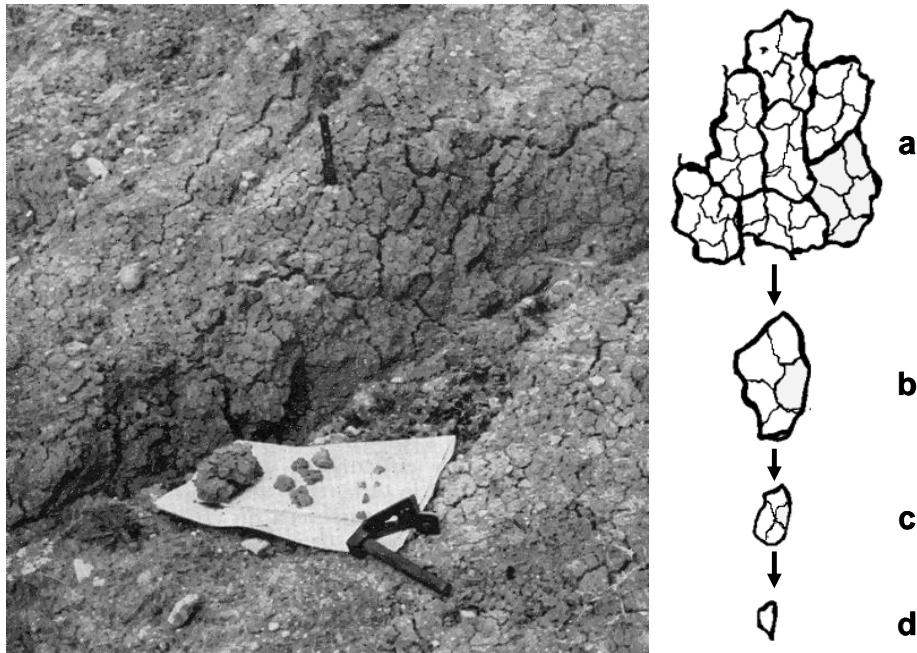


Figura 2 – Surgimento da estrutura pelo efeito da secagem progressiva do solo, bem como dos diferentes níveis de organização do mesmo (elaborado a partir de Gaucher (1968))

Os agregados podem também classificar-se como *macroagregados* e *microagregados*, consoante se distinguem ou não à vista desarmada; alguns autores precisam mesmo que aos primeiros corresponde um diâmetro  $> 250 \mu\text{m}$  e aos segundos um diâmetro  $< 250 \mu\text{m}$ .

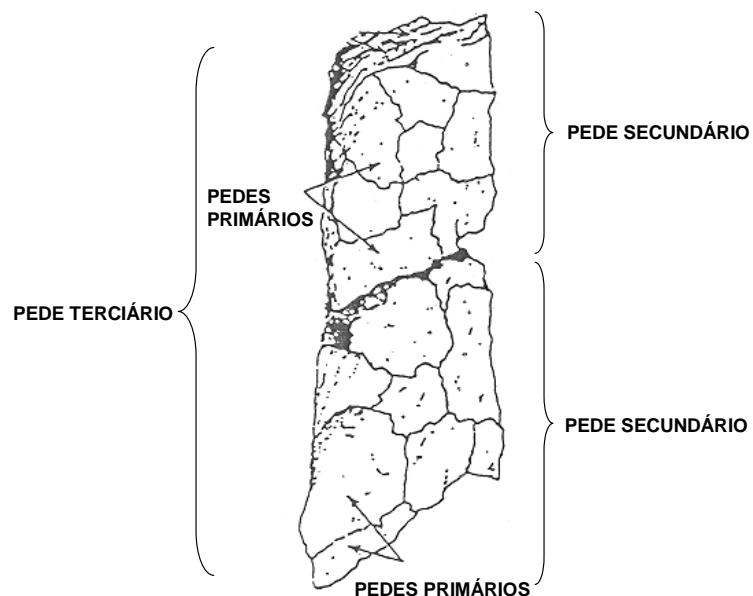


Figura 3 – Representação esquemática dos níveis de organização de agregados ou pedes no solo

Os agregados individualizam-se naturalmente no solo devido à existência de superfícies naturais de fraqueza, resultantes da presença de vazios e películas. Distinguem-se assim facilmente de torrões, originados por acção da mobilização de muitos solos, torrões esses que podem ser maciços ou separar-se posteriormente em agregados pela alternância de processos de humedecimento e secagem; também se distinguem sem dificuldade dos fragmentos em que os torrões maciços se podem partir quando se lhes aplica força suficiente. Tais massas de solo não são, com efeito, conjuntos naturais de partículas terrosas.

#### **6.1.1.2. Matriz ou fundo matricial**

*Matriz* ou *fundo matricial* corresponde ao conjunto dos constituintes que fazem parte dos pedes primários e/ou da massa do solo apédico, com exclusão daqueles que formam os caracteres pedológicos (que apresentam matriz própria). Distinguem-se no fundo matricial, *plasma*, *esqueleto* e *vazios*.

O plasma consiste nos constituintes do solo susceptíveis de experimentarem migração, reorganização ou concentração, ou que estiveram sujeitos a tais processos. Inclui portanto os constituintes no estado coloidal (minerais de argila, "óxidos", substâncias húmicas) e constituintes solúveis.

O *esqueleto* ou *grãos de esqueleto* diz respeito às partículas minerais das fracções grosseira e semifina do solo (partículas de areia e de limo, por exemplo) e a resíduos orgânicos silicificados.

Os *vazios*, também normalmente designados *poros* ou *espaços intersticiais*, correspondem aos espaços que ocorrem entre as partículas do solo, quer partículas elementares quer agregados.

Os vazios são unidades de organização particularmente importantes, pois é nos vazios que circulam ou são contidos o ar e a água e se desenvolvem as raízes das plantas. Além disso, é no seu interior e nas superfícies que os limitam que se verificam os principais processos e reacções que interessam à vida vegetal e à formação do solo. Deste modo, o solo não deve ser encarado como um *corpo granuloso* (ponto de vista tradicional) mas antes como um *corpo poroso*, como ultimamente tem havido tendência a considerá-lo.

Os vazios têm forma, dimensão e orientação muito variadas e irregulares, apresentando por isso globalmente uma geometria bastante complexa. O seu conjunto – definido pela *porosidade do solo* – pode conceber-se como um emaranhado de canalículos de secção e morfologia bastante variáveis, com mudanças abruptas de diâmetro e forma, com soluções de continuidade e com superfícies apresentando diferentes aspectos.

Os vazios classificam-se vulgarmente em *microvazios* (ou *microporos*) e *macrovazios* (ou *macroporos*). Não é possível atribuir-lhes com rigor um diâmetro preciso, todavia é usual considerar para eles, simplificadaamente, a seguinte distinção:

*Microvazios* - Vazios com diâmetro geralmente inferior a 80  $\mu\text{m}$ ; no seu conjunto constituem a *microporosidade* ou *porosidade capilar*.

*Macrovazios* - Vazios com diâmetro geralmente superior a 80  $\mu\text{m}$ , os quais, conjuntamente constituem a *macroporosidade* ou *porosidade não - capilar*.

Esta distinção entre vazios será mais compreensível se, em vez de se considerar a sua dimensão, se atender à função que eles desempenham em relação ao movimento e à retenção de água, como se indica no Quadro 1. Os microvazios retêm a água, devido às forças capilares que desenvolvem; há neles movimentos de água por capilaridade, mas esses movimentos são tão lentos que não têm expressão no solo nas condições naturais. Os macrovazios não retêm água; esta, em condições de drenagem livre, movimentam-se neles rapidamente por acção da gravidade, de modo que, normalmente, os macrovazios não contêm água (estão, sim, preenchidos por ar).

Em condições normais, o arranjo das partículas de plasma e esqueleto determina que as superfícies dos vazios não sejam lisas. Devido a movimentos diferenciais sob pressão de porções de solo, as paredes podem apresentar-se polidas e estriadas, recebendo então a designação especial de *superfícies polidas por deslizamento* ou *superfícies polidas ("slickensides")*. Tais superfícies são vulgares em solos ricos em minerais de argila expansíveis (esmectites).

Quadro 1 - Classes dos poros do solo e funções da cada classe de diâmetro (adaptado de Brady & Weil, 1999)

CLASSES	$\phi$ (mm)	FUNÇÕES
<b>MACROPOROS</b>	0,08 - 5 +	Drenagem da água; circulação do ar; distribuição de raízes e habitat para a fauna do solo
<b>MESOPOROS</b>	0,03 - 0,08	Retenção e movimento de água por capilaridade; acomodam fungos e raízes
<b>MICROPOROS</b>		
<b>MICROPOROS</b>	0,005 - 0,03	Retenção da água útil para as plantas; acomodam a maioria das bactérias
<b>ULTRAMICROPOROS</b>	0,0001 - 0,005	Retenção de água que as plantas não conseguem usar; exclui a maioria dos microrganismos
<b>CRIPTOPOROS</b>	<0,0001	Excluem os microrganismos e as grandes moléculas

### 6.1.1.3. Caracteres pedológicos

Consideram-se como caracteres pedológicos as unidades de organização distintas das unidades envolventes devido a diferenças quanto à origem, à concentração do plasma ou ao arranjo dos respectivos constituintes. Têm uma matriz própria e nela podem ocorrer outros caracteres pedológicos de menores dimensões. Os caracteres pedológicos mais importantes são as *películas*, as *glébulas*, os *pedotubulos* e as *peletas* (fecais).

Os caracteres pedológicos podem formar-se *in situ* ou serem herdados, num caso e noutro levantando problemas totalmente diferentes no que se refere à génese dos respectivos solos. Relativamente aos solos com agregação, os caracteres pedológicos podem localizar-se no interior dos agregados ou na sua superfície, ou podem desenvolver-se sem qualquer relação definida com eles.

#### *Películas*

As *películas* consistem em capas muito finas de plasma associadas às superfícies naturais do material do solo (paredes dos vazios, bem como superfícies de agregados, de grãos do esqueleto e mesmo de outros caracteres pedológicos), as quais se formam devido a processos de concentração ou a acções de compressão responsáveis por modificações do plasma *in situ*. Atendendo à natureza mineralógica do material constituinte, denominam-se *películas de argila*, *películas ferruginosas*, *películas de manganês*, etc.

Considerando o seu modo de formação, classificam-se em: *películas de iluviação*, se o plasma se concentrou em resultado de processo de eluviação-iluviação; *películas de difusão*, quando a concentração do plasma se deu por mecanismos de difusão localizada; *películas de tensão*, para o caso em que se originaram por acções de compressão. Todas as películas se caracterizam por uma certa orientação das partículas constituintes, distinguindo-se umas das outras por determinados aspectos particulares. As películas de argila de iluviação observam-se, normalmente, no horizonte B iluvial de argila (Bt).

#### *Glébulas*

As *glébulas* são caracteres pedológicos que se distinguem da matriz envolvente devido a uma maior concentração de algum dos respectivos constituintes e/ou a diferenças no seu arranjo. Apresentam limites de separação nítidos e, frequentemente, manifestam endurecimento e removem-se com facilidade do solo. As glébulas podem ser calcárias ou ferruginosas, atendendo à composição. Quanto à forma, podem ser esféricas, elipsoidais, botrióides ou irregulares.

Distinguem-se dois tipos fundamentais de glébulas: os *nódulos*, que se caracterizam por um arranjo irregular do material constituinte, e as *concreções*, em que os constituintes se apresentam com um arranjo ordenado, distribuindo-se em geral concentricamente em torno de um ponto, uma linha ou um plano (frequentemente têm, em corte, um aspecto zonado ou cavernoso).

#### *Pedotubulos*

Os *pedotubulos* correspondem a canais de forma tubular (simples ou ramificados) e com limites abruptos, preenchidos com material do solo frequentemente originário de horizonte diferente daquele em que se desenvolvem, apresentando por isso, nessas condições, um contraste muito acentuado com o material envolvente. Os canais têm sobretudo uma origem biológica em correspondência com a actividade da fauna (túneis escavados por animais do solo) e das plantas, nomeadamente canais de antigas raízes; designam-se então *bioporos*. Todavia podem formar-se também por outros processos, como por exemplo a meteorização.

#### *Peletas*

As *peletas* (fecais) são pequenas porções de excrementos da fauna do solo que, no aspecto geral, fazem lembrar glébulas. Originariamente podiam constituir pedotubulos, mas a destruição destes terá levado à sua individualização e conseqüente disseminação no material do solo.

### **6.1.2. NÍVEIS DE ORGANIZAÇÃO**

O estudo da estrutura pode incidir sobre diferentes unidades de organização, isto é, pode efectuar-se a diferentes *níveis de organização*. Pode assim falar-se, entre outras, em:

*Estrutura plásmica* - considera apenas o plasma que constitui o fundo matricial;

*Estrutura básica* - compreende todos os componentes do fundo matricial;

*Estrutura primaria* - diz respeito à estrutura de todo o material que constitui os pedes primários ou de todo o material do solo se não houver agregação;

*Estrutura secundária* - refere-se à forma, ao tamanho e ao arranjo dos pedes primários, bem como dos vazios e dos caracteres pedológicos localizados entre tais pedes.

Dos variados aspectos estruturais a estudar, uns correspondem a *microestrutura* (só observáveis por métodos microscópicos) e outros a *macroestrutura* (observáveis à vista desarmada).

## **6.2 CARACTERIZAÇÃO DA ESTRUTURA DO SOLO**

A estrutura é de grande importância pelas implicações que tem em relação à classificação dos solos e por ser característica fortemente dependente do processo de formação do solo. Dentro da estrutura interessa sobretudo considerar a agregação sob o ponto de vista agronómico, em virtude dela influir no sistema de porosidade do solo e, portanto, na emergência das plantas e no desenvolvimento no solo do seu sistema radical, na retenção e movimento de água no solo, na infiltração da água e no arejamento do solo, nos sistemas de gestão do solo (nomeadamente mobilização mínima ou, mesmo, não mobilização) e na resistência do solo à erosão. Todas estas funções têm influência marcada na dinâmica da matéria orgânica do solo e na ciclagem de nutrientes, interessando considerar que a agregação não só protege a matéria orgânica do solo mas também influencia a comunidade microbiológica. Em suma, a agregação estável é um atributo fundamental das funções e qualidade do solo. A caracterização e determinações respeitantes à agregação são usadas como indicadores da organização estrutural do solo na dinâmica das suas propriedades.

Devido ao facto de as partículas do solo possuírem diferentes formas, tamanhos e orientações, e de se poderem interligar e associar a diferentes níveis e de formas muito diversas, a caracterização da estrutura do solo é uma tarefa complexa. Além disso, a estrutura do solo varia acentuadamente no espaço e mostra-se bastante inconstante ao longo no tempo, visto que é vulnerável a forças destrutivas de natureza mecânica ou físico-química, sendo fortemente afectada, entre outros factores, pelo clima, pela actividade dos organismos e pelo sistema de uso do solo. O termo estrutura do solo é, assim, mais um conceito qualitativo do que uma propriedade quantificável.

Não existe uma forma objectiva e de aceitação universal para caracterizar a estrutura do solo. Os inúmeros métodos utilizados para tal fim são, na maior parte dos casos, métodos indirectos, que medem atributos do solo dependentes da estrutura e não esta em si mesma. Em muitos casos, estes métodos são especificamente concebidos para determinada finalidade, noutros são completamente arbitrários. Assim, a caracterização da estrutura do solo envolve diversos tipos de observação e análise, de natureza mais ou menos complexa, nomeadamente relativos a (i) aspectos da macroestrutura, (ii) aspectos da microestrutura, (iii) análise de agregados e (iv) métodos indirectos que envolvem a determinação de características físicas que dependem fortemente da estrutura.

### **6.2.1 Aspectos da macroestrutura**

A descrição da macroestrutura dos diferentes horizontes ou camadas do solo abrange a macroagregação, os macrovazios, os caracteres pedológicos (películas, pedotúbulos, concreções).

#### **6.2.1.1 Observação da macroagregação no campo**

Com excepção dos casos em que o solo é inteiramente constituído por partículas não ligadas entre si (estrutura solta) ou formado por uma massa uniformemente coerente (estrutura maciça) – solos



*apédicos* ou *sem agregação* -, as partículas do solo estão geralmente associadas em conjuntos naturais de dimensão e forma variáveis (os *agregados* ou *pedes*), em que a coesão entre os elementos constituintes é evidentemente mais forte do que a adesão dos conjuntos entre si. Assim, desde que o solo não esteja muito húmido, os macroagregados, caso existam, são visíveis no perfil ou tornam-se aparentes quando se aperta ligeiramente uma porção de solo ou se faz saltar na palma da mão, pois separam-se naturalmente pelas superfícies naturais de fraqueza que os delimitam. Sob pressão suficientemente forte qualquer macroagregado pode dividir-se em unidades mais pequenas. Um horizonte ou camada maciço pode também sofrer fragmentação, mas tais fragmentos não são agregados naturais.

Quadro 2 - Principais tipos e classes de macroagregação

Forma e disposição dos agregados		Tipos <sup>1</sup>	Classes
<b>LAMINIFORME:</b> Agregados com uma dimensão (a vertical) limitada e muito mais pequena do que as outras duas; com as faces sensivelmente horizontais		<b>LAMINAR</b>	Muito delgada <1 mm Delgada 1-2 mm Média 2-5 mm Espessa 5-10 mm Muito espessa > 10 mm
<b>PRISMIFORME:</b> Agregados com duas dimensões (as horizontais) limitadas e consideravelmente mais pequenas do que a vertical; com as faces verticais bem definidas e com arestas agudas	Sem topos arredondados	<b>PRISMÁTICA</b>	Muito fina < 10 mm Fina 10-20 mm Média 20-50 mm Grosseira 50-100 mm Muito Grosseira > 100 mm
	Com topos arredondados	<b>COLUNAR</b>	Muito fina < 10 mm Fina 10-20 mm Média 20-50 mm Grosseira 50-100 mm Muito Grosseira > 100 mm
<b>ANISIFORME:</b> Agregados poliédricos irregulares, mas sem diferenças acentuadas entre as três dimensões; com facetas planas ou curvas que moldam as facetas dos agregados vizinhos	Facetas achatadas; a maior parte das arestas bastante agudas	<b>ANISIFORME ANGULOSA</b>	Muito fina < 5 mm Fina 5-10 mm Média 10-20 mm Grosseira 20-50 mm Muito Grosseira > 50 mm
	Algumas facetas curvas e outras achatadas; a maior parte das arestas arredondadas	<b>ANISIFORME SUBANGULOSA</b>	Muito fina < 5 mm Fina 5-10 mm Média 10-20 mm Grosseira 20-50 mm Muito Grosseira > 50 mm
<b>ESFERIFORME:</b> Agregados esféricos, ou poliédricos com três dimensões sensivelmente iguais e com pequenas facetas, planas ou curvas que não se moldam ou se ajustam mal às facetas de agregados vizinhos	Agregados pouco ou nada porosos	<b>GRANULOSA</b>	Muito fina < 1 mm Fina 1-2 mm Média 2-5 mm Grosseira 5-10 mm Muito Grosseira > 10 mm
	Agregados porosos	<b>GRUMOSA</b>	Muito fina < 1 mm Fina 1-2 mm Média 2-5 mm

<sup>1</sup> As designações em português correspondem, pela ordem em que se apresentam, aos termos ingleses *platy*, *prismatic*, *columnar*, *angular blocky*, *subangular blocky*, *granular* e *crumb*.

De acordo com o sistema ainda hoje seguido pela generalidade dos autores - originalmente apresentado por Nikiforoff em 1941 -, a macroagregação é caracterizada pelo *tipo* (forma geral dos

agregados), **classe** (dimensões dos agregados) e **grau** (grau de manifestação ou distinção dos agregados) (Quadro 2, Figura 4). O grau de agregação expressa a diferença entre a coesão no interior dos agregados e a adesão entre os agregados. A sua definição tem em conta a estabilidade dos agregados e a proporção entre o material agregado e não agregado, que se apreciam apertando ligeiramente uma porção de terra e fazendo-a saltar na palma da mão.

Consideram-se normalmente quatro graus de macroagregação:

0. *Sem agregação*. Não existem agregados; o material do solo está solto (como uma areia) ou é maciço (como o material de um horizonte Bh ou Bhs);
1. *Fraco*. Os pedes são muito pouco evidentes no perfil; por manuseamento ligeiro, o material do solo resolve-se facilmente numa mistura de alguns agregados inteiros, muitos partidos e grande proporção de material desagregado;
2. *Moderado*. Agregados relativamente distintos no perfil; manuseando material do solo, separam-se muitos agregados inteiros e distintos, alguns quebrados, e fraca proporção de material não agregado;
3. *Forte*. Agregados muito distintos no perfil; manuseando material do solo, mantêm-se principalmente agregados inteiros, e observa-se pequena proporção de agregados quebrados e pouco ou nenhum material desagregado.

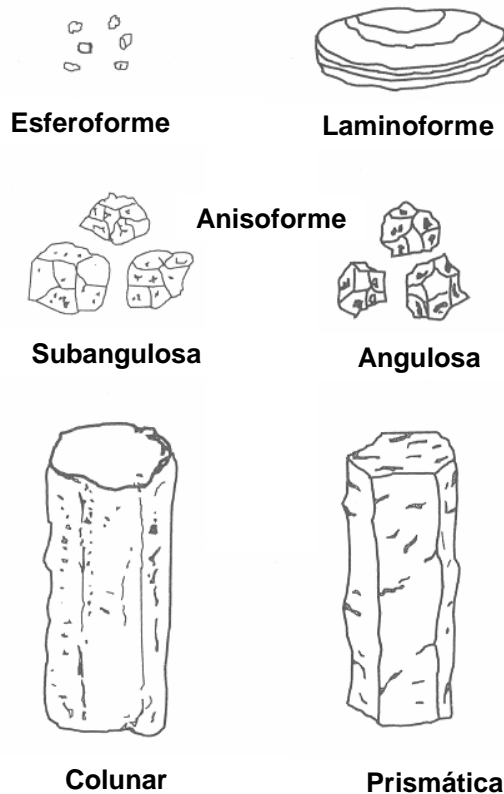


Figura 4 - Tipos de agregação observáveis no solo (adaptado de Hillel, 2004)

A designação da macroagregação é feita indicando sucessivamente as expressões relativas ao tipo, classe e grau, por esta ordem: por exemplo, *prismática grosseira fraca*. Quando há agregados compostos, a designação será, por exemplo, *prismática grosseira moderada, composta de anisoforme angulosa média moderada*.

As características da macroagregação, nomeadamente o seu grau, podem variar muito com o teor do solo em água, pelo que as condições de humidade em que foi feita a observação devem ser sempre indicadas. A agregação deve ser observada tanto no estado húmido como no estado seco ao ar.

As macroagregações mais convenientes são a grumosa e a granulosa médias e finas, bastante estáveis. A anisoforme subangulosa (também média e fina) vem a seguir; a anisoforme angulosa é bastante menos favorável, embora preferível à ausência de agregação.

A vantagem das macroagregações grumosa ou granulosa (médias e finas) resulta em grande parte de permitirem fácil penetração das raízes, propiciarem a infiltração da água através dos macroporos ou macroporos existentes entre os agregados, favorecerem a retenção da água nos microvazios que se desenvolvem dentro dos agregados (água que assim pode em parte ser absorvida pelas raízes), garantirem conveniente arejamento (em relação com os macroporos), contrariarem a formação de crostas na superfície do terreno, aumentarem a resistência do solo à erosão e serem essenciais para o bom desempenho dos sistemas de mobilização mínima ou não-mobilização do solo. De maneira geral, nos climas mais húmidos são preferíveis as agregações grumosa e granulosa médias, ao passo que nos mais secos as finas são mais favoráveis.

#### **6.2.1.2. Outras observações no campo**

Dentro destas observações é de grande relevância considerar *os macroporos, o fendilhamento, as superfícies polidas, e os caracteres pedológicos* (Jahn *et al.*, 2003).

Os macroporos deverão ser caracterizados quanto às suas abundância e dimensão, pelas funções que eles desempenham em relação ao movimento e retenção de fluidos e à expansão dos sistemas radicais das plantas.

O fendilhamento e as superfícies polidas são indicadores de importantes características do solo, bem como de comportamento físico e químico específicos, associados à constituição mineralógica do solo. As fendas superficiais devem ser descritas quanto à sua largura e distância entre elas.

Os caracteres pedológicos, pela sua importância sobretudo quanto às indicações que dão sobre os processos de formação e evolução do solo, devem ser objecto de descrição e caracterização detalhada. As *glébulas* deverão ser descritas quanto à abundância, tipo (nódulos ou concreções), dimensão, forma, dureza, natureza e cor. As *películas*, por seu turno, deverão caracterizar-se no

respeitante à abundância, natureza, localização e contraste. A abundância e o tipo de actividade biológica (canais, tocas, pedotubulos) devem também ser objecto de caracterização detalhada

### 6.2.2. Aspectos da microestrutura. Estudos micromorfológicos

Os agregados do solo são em geral constituídos por unidades sucessivamente mais pequenas, possuindo as mais elementares dimensões de apenas alguns micrómetros. Estas unidades, bem assim como outros elementos da *microestrutura* do solo, como a distribuição dos poros de menores dimensões, não são observáveis à vista desarmada e só podem ser visualizados utilizando técnicas microscópicas ou ultramicroscópicas.

A microestrutura do solo estuda-se pela observação de lâminas delgadas num microscópio de luz polarizada. O método implica a colheita de amostras não perturbadas, a remoção da água por processos que minimizem a contracção da massa do solo e a sua impregnação com uma resina, em geral sob vácuo. Uma vez endurecidos, os blocos são cortados, colados a uma lâmina de vidro, desbastados e polidos, de forma a obter-se uma espessura de material do solo de 20-25  $\mu\text{m}$ . A lâmina é então observada ao microscópio e a estrutura caracterizada, especificando-se, nomeadamente, o tipo e a dimensão dos vazios, a forma, o tamanho e o grau de distinção dos agregados, e a proporção de material agregado e não agregado (Figura 5).

A terminologia utilizada para descrever as características microestruturais é por vezes semelhante à que se emprega para designar os elementos da macroestrutura. Na maior parte dos casos, porém, a peculiaridade dos elementos microestruturais obriga ao uso de nomenclatura específica, para a qual ainda não existe um sistema padronizado e universalmente aceite.

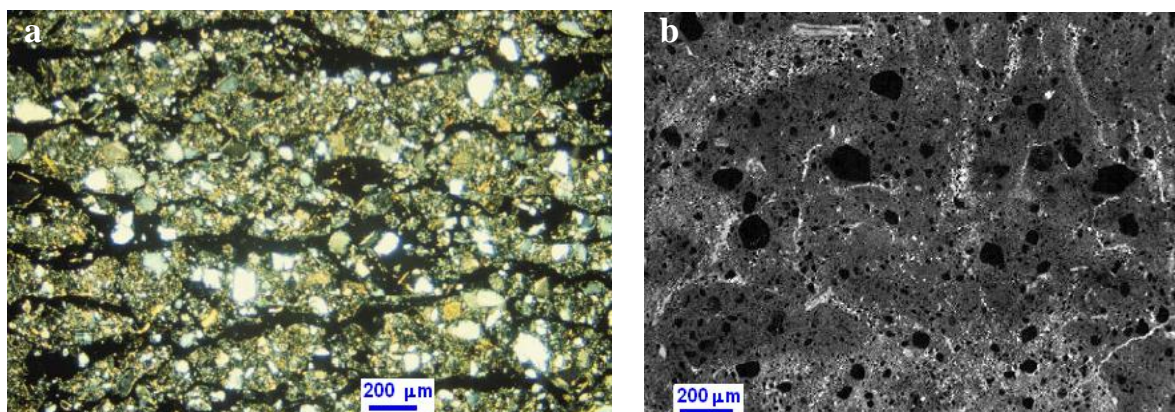


Figura 5 – Aspectos microestruturais de um horizonte superficial de um *Luvissolo*. (a) Os poros (a preto) estão alinhados paralelamente, delimitando microagregados platiformes; (b) os poros (a branco) sugerem uma microagregação anisóforme subangulosa mal desenvolvida (Monteiro, 2004).

Os estudos micromorfológicos podem incluir *observações com a lupa estereoscópica* em pequenas amostras monolíticas não perturbadas e/ou em blocos polidos iluminados lateralmente,

observações com o microscópio petrográfico, sobretudo em lâminas delgadas, e observações com o microscópio electrónico.

### 6.2.3. Análise de agregados. Estabilidade da agregação

A determinação do estado de agregação de um solo é claramente insuficiente para a sua caracterização estrutural, uma vez que a pedalidade do solo é susceptível de variar em curtos períodos de tempo. A *estabilidade da agregação*, ou seja, a resistência que os agregados oferecem à acção das forças desagregadoras que sobre eles actuam, é, por isso, um aspecto cujo conhecimento é da maior importância.

A apreciação da estabilidade da agregação é normalmente feita através da análise de agregados, sujeitando amostras de solo a forças induzidas artificialmente que procuram simular acções ou processos susceptíveis de ocorrerem em condições naturais. Em regra, a avaliação do grau de estabilidade da agregação envolve a determinação da massa da fracção da amostra original que resistiu à destruição (ou, inversamente, a da fracção que se desagregou) e o cálculo da respectiva proporção, relativamente à parte restante da amostra ou à totalidade da mesma. Os resultados obtidos são, muitas vezes, apresentados na forma de *índices de estabilidade*.

São inúmeros os métodos utilizados para avaliar a estabilidade da agregação, os quais dependem, em larga medida, dos aspectos que se pretendem estudar. Assim, por exemplo, a estabilidade mecânica dos agregados poderá avaliar-se através da medição da sua resistência a forças de compressão ou da sua crivagem a seco; a sua resistência à erosão eólica, é usual avaliar por meio da medição da deflação provocada por vento produzido artificialmente num túnel, com a velocidade e durante o tempo pretendidos.

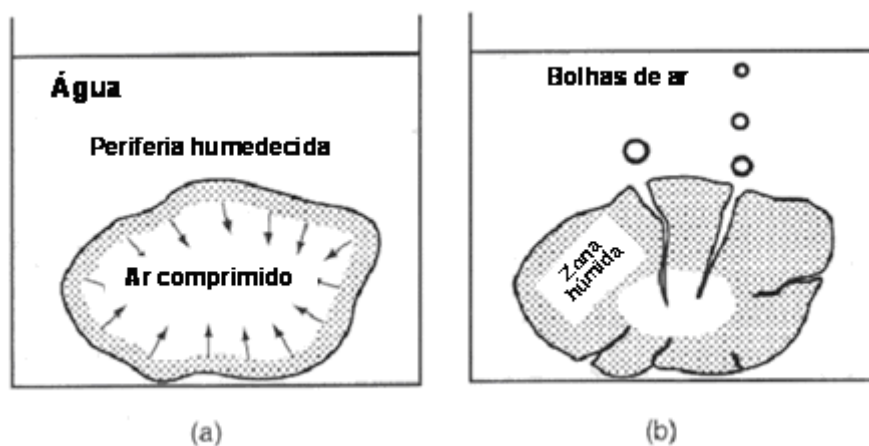


Figura 6 – Esboroamento de um agregado submerso em água (adaptado de Hillel, 2004).  
(a) – Início do humedecimento; (b) - fase de esboroamento.

Todavia, a resistência dos agregados à acção da água é aquela que é estudada com maior frequência. A água exerce um efeito considerável na destruição dos agregados, seja em resultado da

hidratação destes (Figura 5), seja pela acção mecânica das gotas de chuva e da água de escoamento superficial. A hidratação dos agregados pode levar à sua desintegração, na sequência da dissolução de substâncias que ligam entre si as partículas, ou pelo gradual enfraquecimento das forças de ligação entre estas, resultante da expansão (e eventual dispersão) dos minerais argila (Figura 6). Se o humedecimento dos agregados não for uniforme, a expansão diferencial do material que os constitui é capaz de originar forças susceptíveis de provocar a sua fragmentação; o mesmo pode suceder devido à oclusão de ar no interior dos pedes, na sequência do seu súbito humedecimento. Por outro lado, o impacto das gotas de água da chuva exerce um efeito dispersivo e desagregador muito grande sobre os agregados, possibilitando o destacamento e o transporte das partículas finas para os vazios, o que reduz a porosidade e aumenta a compactação do solo. Embora afectem geralmente apenas a camada mais superficial do solo, estas acções têm reflexo no arejamento e no movimento da água em todo o pédone.

O método clássico e mais divulgado para avaliar a estabilidade em água dos agregados é o *método da crivagem em água* – originalmente desenvolvido por Tiulin (1928) e posteriormente modificado, nomeadamente por Yoder (1936). Uma amostra representativa de solo seco ao ar (colhida de forma a preservar os agregados existentes) é colocada no crivo superior de um conjunto de crivos de malha sucessivamente mais apertada e imerso em água. O conjunto de crivos é então submetido, durante um determinado período, a um movimento vertical que provoca a circulação alternada da água para cima e para baixo através da amostra, simulando a acção do fluxo de água no solo.

O material retido nos diversos crivos é na generalidade dos casos constituído por proporção variável de material agregado e não agregado. É portanto necessário deduzir à totalidade do material que fica retido em cada um dos crivos, uma vez concluída a crivagem, a proporção correspondente de partículas primárias. Deste modo, o peso final obtido em relação a cada crivo refere-se à quantidade de material agregado formado por partículas de diâmetro inferior ao dos orifícios do crivo.

Segundo este método, o solo fica caracterizado, do ponto de vista da sua agregação, pela distribuição do material que nele se encontra agregado nas classes de dimensão correspondentes à malha dos crivos utilizados. Correntemente, os resultados da análise são expressos como percentagem dos vários lotes de agregados relativamente à terra total seca em estufa a  $105\pm 3^\circ\text{C}$ .

Além disso, conjugando alguns destes dados com os da análise granulométrica, pode também quantificar-se a agregação do solo, embora de uma forma mais genérica, através de *coeficientes* ou *índices de agregação*. Entre tais índices destaca-se o *coeficiente de agregação* e a *relação de dispersão de Middleton*, aos quais correspondem, respectivamente, as expressões:

$$\frac{D-S}{D} \times 100 \quad \text{e} \quad \frac{S}{D},$$

em que:

D é a percentagem de partículas de  $\emptyset < d$  obtida por análise mecânica (portanto com dispersão da amostra);

S é a percentagem de partículas de  $\emptyset < d$  obtida por análise de agregados (isto é, sem dispersão da amostra).

O valor  $d$  é escolhido arbitrariamente, sendo usual considerar o valor de 0,25 mm.

O conhecimento da distribuição dos agregados do solo por classes de dimensão reveste-se de particular importância. Com efeito, dependendo do tamanho dos agregados a erodibilidade do solo, o conhecimento do movimento e da retenção da água, do arejamento e da facilidade de mobilização, tem a maior utilidade com vista à definição das técnicas culturais mais adequadas.

Os índices de agregação, dando a conhecer a proporção de agregados estáveis (resistentes ao processo de agitação em água), possuem igualmente evidente interesse. Como se deduz das respectivas expressões, o coeficiente de agregação varia entre 0 e 100 (0 quando não há agregados estáveis e 100 na hipótese de a agregação ser perfeita). A relação de dispersão toma valores compreendidos entre 0 e 1. O valor 1 significa que não há agregação estável em água, ao passo que o valor 0 indica que todas as partículas de  $\emptyset < d$  se encontram em agregados de  $\emptyset > d$ .

O maior problema dos métodos de crivagem em água tem a ver com o facto de a estabilidade dos agregados depender consideravelmente da forma como se processa o seu humedecimento. Com efeito, a secagem ao ar tende a reduzir a proporção de agregados de grande dimensão, em especial se for muito rápida. Por outro lado, a súbita imersão dos agregados em água causa maior fragmentação do que quando esta penetra lentamente por ascensão capilar, ou do que quando eles são pulverizados com água. A destruição dos agregados é ainda menor se forem humedecidos no vácuo, ou tratados previamente com álcool, de forma a remover o ar presente nos poros antes de se proceder à sua crivagem em água.

Os métodos de crivagem em água permitem avaliar a estabilidade dos agregados de  $\emptyset > 0,1$  mm. Todavia, as mais das vezes o limite considerado é de 0,25 mm. Para estudar a estabilidade dos agregados de dimensão inferior à referida (e, em geral, os de  $\emptyset < 1$  mm), podem utilizar-se métodos de sedimentação, nos quais o procedimento é semelhante ao utilizado numa comum análise mecânica, mas em que a análise é feita com e sem dispersão da amostra. Com os resultados assim obtidos é possível calcular a proporção de argila que ocorre associada em microagregados.

#### **6.2.4. Métodos indirectos para caracterização da estrutura**

Pode-se obter informação sobre a estrutura do solo a partir de determinações físicas como a *permeabilidade à água*, a *permeabilidade ao ar*, a *absorção do som* e a *compressibilidade*, as quais dependem fortemente da estrutura do solo.

Muitos dos métodos usados para caracterizar a estrutura do solo não avaliam propriamente a estrutura, mas sim propriedades dela dependentes. Entre tais métodos incluem-se os que medem

diversas propriedades mecânicas do solo, ou a sua permeabilidade à água e a outros fluidos. Mais comumente, a estrutura do solo é avaliada através da porosidade, em particular da distribuição do tamanho dos poros.

A distribuição dimensional do espaço poroso pode ser determinada, em solos de textura grosseira, por *métodos de intrusão*, nos quais um líquido não molhante, em geral mercúrio, é forçado a penetrar nos poros de uma amostra previamente seca. A pressão é aplicada faseadamente, sendo o volume de líquido introduzido na amostra medido no fim de cada etapa. Aplicando os princípios da capilaridade, tais volumes podem ser relacionados com o diâmetro dos poros ocupados pelo mercúrio. Em solos de textura fina utilizam-se comumente *métodos de sucção*. Nestes, as amostras são saturadas com água e sujeitas a uma força de sucção, igualmente aplicada de forma faseada e crescente; o volume de água extraído da amostra após cada incremento de sucção é medido, e a dimensão dos poros esvaziados em cada etapa calculada de acordo com a teoria da capilaridade.

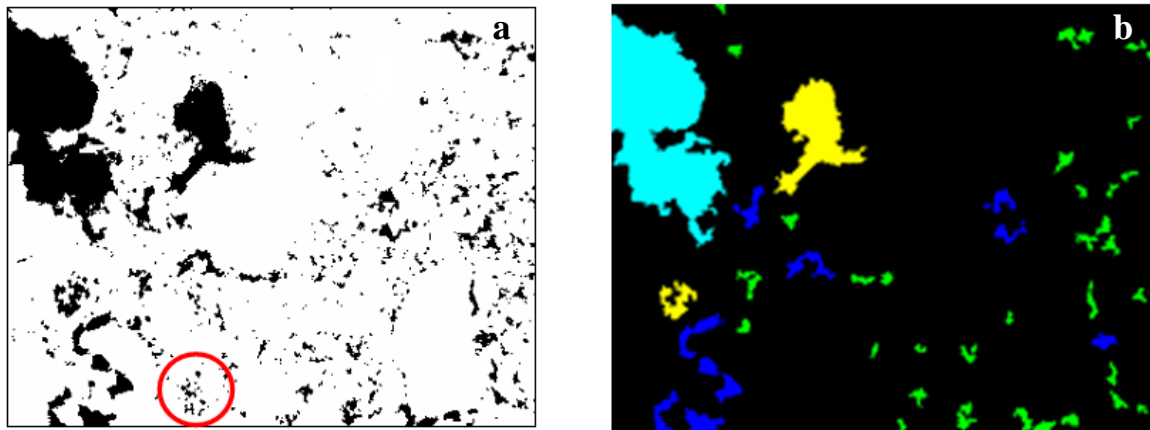


Figura 7 – (a) Fotomicrografia da superfície porosa total identificada por análise de imagem num horizonte superficial de um *Luvissolo* (o círculo a vermelho assinala alguns dos poros não incluídos na análise subsequente, em virtude de o seu diâmetro equivalente ser inferior ao limite escolhido - 30  $\mu\text{m}$ ); (b) separação da porosidade de diâmetro superior a 30  $\mu\text{m}$  nas classes: 30-60, 60-100, 100-500 e  $>500$   $\mu\text{m}$  (Monteiro, 2004).

O estudo da porosidade e da distribuição de tamanho dos poros pode igualmente ser feito através de técnicas micromorfológicas. É o caso daquelas que recorrem à análise de imagens fotográficas, obtidas sob luz UV, de lâminas delgadas ou de blocos de solo impregnados com resina misturada com uma tinta fluorescente e finamente polidos (Figura 7). Em tais imagens, o espaço correspondente aos poros do solo (completamente preenchidos com resina fluorescente) é facilmente identificável, permitindo o respectivo estudo. Entre outros aspectos, este estudo incide sobre a forma, o tamanho, a orientação espacial e a área dos poros, podendo fazer a sua separação por classes de forma ou dimensão; mais pormenorizadamente o estudo pode avaliar, por exemplo, a orientação espacial dos poros com determinado alongamento. Esta técnica permite analisar tanto a microporosidade (fotomicrografias obtidas num microscópio de fluorescência), como a macroporosidade (imagens obtidas com uma máquina fotográfica vulgar). Programas informáticos capazes de medir os



parâmetros necessários neste tipo de análise (comprimentos, áreas, ângulos), aumentaram a capacidade de análise do sistema de porosidade do solo. Por ser um processo analítico especializado e com custos algo elevados, a sua utilização é normalmente reservada a estudos específicos e de pormenor.

Trata-se, portanto, de estudos de microestrutura, que exigem a colheita de amostras tal como o solo se encontra *in situ* (amostras não perturbadas), em que a preparação de lâminas delgadas de solo para observação microscópica é semelhante à referida para os estudos microcromorfológicos.

### 6.3. GÉNESE DOS AGREGADOS

A formação de agregados é um processo bastante complexo, que tem sido muito estudado, mas que é ainda hoje imperfeitamente conhecido. Não obstante, pode considerar-se que, de uma maneira geral, têm que se verificar três tipos de acções para a génese dos agregados: (i) Acções de ligação entre partículas individuais; (ii) Acções de separação de conjuntos de partículas; (iii) Acções de estabilização dos conjuntos de partículas que se separam, para que eles tenham permanência no solo.

#### *Acções de ligação*

A ligação entre partículas está fundamentalmente na dependência da natureza do material coloidal do solo: *minerais de argila*, "*óxidos*" *de ferro e de alumínio* e *substâncias húmicas*. As partículas coloidais - consistindo as de minerais de argila de unidades policristalinas, quer no caso das ílites e das vermiculites (microdomínios) quer no das esmectites (quasi-cristais) - ligam-se entre si e também às partículas de material não coloidal (limo e areia), actuando, portanto, os colóides como agente cimentante. Embora haja muitas teorias sobre a maneira como se estabelece a ligação, parece que ela se pode dar por: (i) forças de coesão entre partículas orientadas, do mesmo tipo das que ligam unidades estruturais dos minerais de argila 2:1 (forças de Van der Waals); (ii) atracção directa entre zonas com carga de sinal contrário (negativa e, positiva) ou atracção entre zonas de carga negativa através de pontes de catiões de troca, pontes de hidrogénio e, inclusive, ligações covalentes.

O segundo mecanismo de ligação (atracção electrostática entre cargas negativas pela interacção de catiões de troca; ou entre cargas opostas) é em geral considerado como um dos dominantes. Assim tem-se que, em igualdade de outras condições, a ligação entre minerais de

argila será tanto mais forte quanto maior for a sua capacidade de troca catiónica; logo, será por exemplo mais forte no caso das esmectites (montmorilonite) do que no da caulinite.

Além dos constituintes coloidais considerados, podem também intervir em acções de ligação constituintes orgânicos resultantes da actividade biológica e o calcário ( $\text{CaCO}_3$ ). Desses constituintes orgânicos têm importância particular os compostos de cadeia longa, como os polissacáridos (gomas, mucilagens, poliurónidos), as resinas e as ceras, que manifestam capacidade para ligar as partículas minerais entre si e ao mesmo tempo para as envolver (ocluindo-as). O  $\text{CaCO}_3$  precipitando em redor de partículas do solo actua também como um agente cimentante.

#### *Acções de separação*

A ligação só por si dá massas contínuas de solo e não agregados. Tem que se dar, portanto, a separação de conjuntos de partículas. A separação deve-se sobretudo ao processo de *floculação*. Ensaio laboratoriais com argilas saturadas por diferentes catiões mostram que a associação das partículas em grupos (floculação), bem como a sua distribuição uniforme (dispersão), tendem a manter-se após secagem. Argilas-Ca e argilas-Al dão um fendilhamento denso ao secarem, originando agregados característicos de agregações granulosa ou grumosa médias e finas; em contraste, as argilas-Na originam um fendilhamento pouco denso, originando grandes massas de solo de natureza maciça ou agregações colunar ou prismática muito grosseira.

A presença de Ca ou Al no solo é indispensável para a sua agregação, por determinar floculação. Porém, o estado floculado só por si não é suficiente para uma boa agregação, pois é ainda necessário haver estabilização dos floculados (constituídos por conjuntos de partículas), o que a floculação não assegura. Com efeito, conhecem-se solos com elevada proporção de  $\text{Ca}^{2+}$  (ou  $\text{Al}^{3+}$ ) de troca mal agregados; inclusive, encontram-se solos argilosos calcários (com bastante calcário activo) que apresentam agregação nítida quando secam mas que se transformam numa lama semifluida quando chove, em virtude da fraca estabilização dos agregados.

Para além da floculação, sempre indispensável (não há de facto boa agregação se não houver floculação), outras acções de separação de diversa natureza manifestam-se nas condições naturais, sendo de destacar, nomeadamente, a *alternância de humedecimento e secagem do solo*, a *congelação da água do solo*, a *acção das raízes das plantas*, a *actividade microbiana* e a *acção de elementos da macrofauna do solo*.

Pelo *humedecimento e secagem* há expansão e contracção do material do solo, o que provoca fendilhamento e a divisão do solo em agregados. Por outro lado os dois processos nunca são simultâneos e uniformes em toda a massa do solo, pelo que se desenvolvem forças diferenciais que levam à sua separação em conjuntos. É bem conhecido que os grandes torrões formados no solo quando da sua mobilização acabam por desaparecer passado algum tempo; deu-se de facto a sua separação em agregados com a alternância da secagem e do humedecimento.

A *congelção da água* provoca pressões localizadas na massa do solo e a sua secagem, contribuindo assim para a separação de agregados.

A *acção das raízes das plantas* pode fazer-se sentir por vários mecanismos. Com efeito, as raízes (i) determinam numerosas linhas de fraqueza na massa do solo, pelas quais se dá a separação de agregados quando haja contracção devido a secagem; (ii) podem induzir agregação pela pressão que exercem sobre as partículas de solo, processo que também é provocado por pelos radiculares que mantêm as partículas associadas; (iii) contribuem elas próprias para a secagem do solo pela absorção de água; (iv) podem excretar substâncias que determinem a floculação dos colóides. Relativamente à acção das raízes, existe grande diferença entre as espécies vegetais; as gramíneas distinguem-se pela sua acção muito favorável na agregação do solo, em virtude da natureza do seu sistema radical fasciculado e bastante denso.

No que respeita à *actividade microbiana*, o desenvolvimento dos microrganismos conduz à separação de agregados quer por acção mecânica (caso particular do micélio de fungos) quer por acção floculante induzida por produtos excretados.

Para a separação de agregados podem concorrer também alguns *elementos da macrofauna do solo*. Em particular certos anelídeos (minhocas), abundantes em solos ricos em Ca, contribuem muito fortemente para a individualização de agregados; aliás, os seus próprios excrementos constituem agregados de elevada estabilidade. Estima-se que produzam diariamente o seu peso em agregados estáveis.

#### *Acções de estabilização*

As ligações podem dar-se apenas entre colóides da mesma natureza ou entre colóides diferentes com a consequente formação de complexos. Verifica-se que as ligações entre colóides da mesma natureza se caracterizam em geral por uma certa reversibilidade, contrariamente ao que sucede com as ligações entre colóides orgânicos e minerais que são bastante irreversíveis.

Como é lógico, a estabilização dos agregados passa pelo desenvolvimento de ligações irreversíveis entre as respectivas partículas. Assim sendo, a interacção dos diferentes constituintes coloidais será o processo fundamental na estabilização dos agregados. Objectivamente, a estabilização dos agregados implica que se tenham formado associações organo-minerais ou associações de minerais de argila e "óxidos" (com adequada proporção de  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Al}^{3+}$  de troca), já que tanto uns como outros evidenciam apreciável irreversibilidade.

Nas condições naturais os solos com cálcio são geralmente melhor agregados do que os solos com alumínio. É certo que o cálcio e o alumínio são bons agentes flocculantes e, aliás, o alumínio até é superior devido à sua maior valência. As vantagens do cálcio resultam, assim, de acções indirectas que não se verificam no caso do alumínio, nomeadamente das seguintes: i) Melhora a actividade microbiana que leva a uma transformação mais favorável da matéria orgânica (MO), favorecendo a formação de ácidos húmicos e huminas, mais flocculáveis e propícios a associações com os minerais de argila, logo mais efectivos na formação de agregados e na sua estabilização; (ii) Cria melhores condições para a actividade dos anelídeos (minhocas), muito favoráveis ao desenvolvimento de boa agregação; (iii) Favorece a maior parte das espécies vegetais e, portanto, o maior desenvolvimento radicular que, directa e indirectamente (produção de MO), também contribui para a formação dos agregados no solo.

Há, no entanto, solos que, embora podendo ser pobres em matéria orgânica e sendo desprovidos de minerais de argila 2: 1 e pobres em  $\text{Ca}^{2+}$  de troca, apresentam agregação bastante boa (de grau elevado e estável). Tal é o caso de muitos solos representativos das regiões tropicais húmidas, cuja agregação é devida sobretudo à (i) existência de associações "óxidos"- minerais de argila (caulinite) e (ii) proporção favorável de  $\text{Al}^{3+}$  de troca.

Estes exemplos evidenciam que se podem encontrar boas agregações em solos bastante diferentes: por um lado, solos com elevado grau de saturação em catiões não ácidos, ricos em matéria orgânica e com minerais de argila 2: 1; por outro lado, solos com grau de saturação baixo, pobres em matéria orgânica e com minerais de argila 1:1 (associados a "óxidos" de Fe e de Al).

A estabilização de agregados está fortemente dependente dos organismos vivos, sendo de destacar a já referida acção dos anelídeos, as malhas devidas às raízes das plantas e hifas de fungos, e os produtos de síntese biológica produzidos por microrganismos (especialmente bactérias e fungos). Muitas destas acções estão dependentes da quantidade de MO, especialmente da fracção correspondente a resíduos. Em primeiro lugar, a MO constitui o substrato energético que possibilita as actividades de fungos, bactérias e fauna do solo; em

segundo, à medida que os resíduos orgânicos se decompõem são produzidos constituintes de síntese que contribuem para a formação e estabilização de agregados. Os exsudados orgânicos das raízes também participam nesta acção.

## **6.4. ALTERAÇÕES DA AGREGAÇÃO E O USO DO SOLO**

### **6.4.1. Acção das técnicas de cultivo na agregação do solo**

De maneira muito geral pode dizer-se que o aproveitamento agrícola ou florestal dos solos obriga a práticas de cultivo que podem influir desfavorável ou favoravelmente na respectiva agregação. Essas práticas dizem respeito, essencialmente, à *mobilização do solo*, à *rotação de culturas*, à *aplicação de fertilizantes* e à *gestão dos resíduos das culturas*.

#### *Mobilização do solo*

As mobilizações (lavouras, gradagens, etc.) podem contribuir para deteriorar a estrutura do solo, nomeadamente a agregação, pelas seguintes acções:

- a) Redução do teor de MO, devido ao maior arejamento e, assim, a maior taxa de mineralização da matéria orgânica do solo, fundamental na agregação;
- b) Destruição directa de agregados (i) pelo seu esmagamento e pulverização, desde que o solo esteja demasiado seco (e especialmente se é usada maquinaria pesada), ou (ii) por amassamento de uns agregados contra outros, o que leva à formação de massas plásticas, desde que o solo esteja demasiado húmido (se for argiloso); quer dizer, para se evitar semelhante acção negativa, as mobilizações deverão fazer-se com o solo em condições de humidade favoráveis (nem demasiado seco, nem demasiado húmido);
- c) Compactação do solo: quer de forma generalizada, devido à pressão exercida pela maquinaria, quer localizadamente (desenvolvimento de "calos" de lavoura, por exemplo), devido a passagens continuadas, sempre à mesma profundidade, dos órgãos activos dos instrumentos de mobilização; a compactação reduz a porosidade do solo, com implicações no desenvolvimento radical, na infiltração e movimentos de água, no arejamento e na erosão.

A mobilização do solo será, todavia, um mal necessário, pois procura-se através dela alcançar determinados objectivos que não se conseguem atingir de outra forma. Os objectivos pretendidos com as mobilizações visam: (i) criar condições para a adequada germinação das

sementes; (ii) incorporar sementes, fertilizantes e eventualmente outros produtos (para o combate de doenças e pragas); (iii) assegurar boa emergência das plântulas, bem como o desenvolvimento favorável das raízes das culturas; (iv) destruir "crostas" superficiais e "calos" eventualmente constituídos e, além disso, reduzir qualquer compactação geral que se haja formado no solo, com vista a melhorar a infiltração da água e o arejamento; (v) destruir a vegetação infestante, que compete com as culturas no consumo de água e de nutrientes; (vi) reduzir perdas de água à superfície do solo, por evaporação.

Porém, a mobilização do solo deverá ser restringida ao mínimo indispensável. Hoje em dia, com o intuito de minimizar os inconvenientes das práticas de mobilização, preconiza-se mesmo a adopção de sistemas de mobilização mínima ou, para condições excepcionais em que isso se mostre possível, sistemas de não - mobilização.

Nos sistemas de mobilização mínima há redução do número de operações de mobilização do solo ao estritamente necessário, procurando-se assim: por um lado, evitar a degradação da agregação (que resulta da corrosão, esmagamento e pulverização de agregados, bem como da intensificação da mineralização de fracções orgânicas favoráveis à agregação); por outro, contrariar a compactação do solo à superfície e em profundidade. Nestes sistemas começa-se logo por simplificar a preparação da "cama" para as sementes, na dependência evidentemente da agregação natural; as sementes e os fertilizantes incorporam-se conjuntamente numa única operação; as adubações de cobertura podem aplicar-se por via aérea; para destruir a vegetação infestante, em vez de mobilizar o solo, recorre-se a herbicidas, que também podem ser aplicados por via aérea; quanto às perdas de água por evaporação, à superfície, em geral o solo está naturalmente defendido, dispensando-se por isso também as mobilizações com tal objectivo. O sistema de mobilização mínima pode mesmo levar apenas à mobilização de faixas limitadas de solo, onde vão localizar-se as linhas ao longo das quais as plantas se desenvolvem.

Os sistemas de não - mobilização, em que praticamente não há qualquer mobilização, exigem condições de solo e de clima que sejam excepcionais. De facto, são sistemas próprios de: (i) solos espessos, ricos em MO em toda a sua espessura, com predomínio de minerais de argila 2:1, com grau de saturação em bases elevado, possuindo uma agregação granulosa (ou grumosa) média a fina, forte; (ii) regiões em que a chuva se distribui regularmente ao longo de todo o ano. Inclusive nos sistemas de não-mobilização, como o solo tem que estar muito bem agregado, ele já possui naturalmente as adequadas condições para a germinação das sementes. Deste modo dispensa-se qualquer mobilização até para esse fim, fazendo-se a sementeira e a adubação de fundo com o auxílio de um semeador - distribuidor (de

fertilizantes) que se limita a "arranhar" superficialmente o solo para nele incorporar sementes e fertilizantes.

### *Rotação de culturas*

A adopção de uma rotação de culturas é a base de qualquer sistema agrícola. Na perspectiva da agregação do solo, a rotação a estabelecer deve ter em vista os seguintes objectivos: a) Proteger o solo da acção directa do impacto da água da chuva sobre os agregados, continuamente ou, pelo menos, nos períodos críticos de chuvadas intensas, em que a cobertura é mais necessária; b) Contrariar a diminuição de MO devido ao cultivo, quer por adequada protecção da superfície do solo contra a radiação solar quer por efeitos de compensação entre as culturas que se sucedem; c) Favorecer a agregação, por acção directa das raízes das respectivas culturas.

Com objectivos semelhantes se preconiza, hoje em dia com grande ênfase, a cobertura total ou parcial do solo por vegetação herbácea (enrelvamento) de culturas lenhosas (vinhas, pomares, olivais, sotos, etc.) com o fim de melhorar a qualidade do solo, favorecer o sequestro de carbono e controlar melhor a erosão hídrica.

### *Aplicação de fertilizantes*

A aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos são práticas correntes nos sistemas agrários, tal como a correcção dos solos ácidos através da realização da calagem (aplicação de  $\text{CaCO}_3$ ). Embora estas práticas visem objectivamente o aumento de produção das culturas, elas influem também na agregação e, por isso, devem atender também a este outro objectivo.

A *adubação mineral* tem acção favorável sobre a agregação porque, aumentando a produção das culturas, aumenta a quantidade de resíduos (incluindo os das raízes) que estas podem deixar no solo e contribui para o aumento do teor de MO no solo com todos os efeitos positivos que esta determina na respectiva agregação. A *calagem*, assegurando um teor de cálcio mais elevado no solo, vai sem dúvida favorecer também a agregação.

A *aplicação de estrume e outros fertilizantes orgânicos*, além do seu efeito benéfico sobre a nutrição vegetal (portanto sobre a produção e, conseqüentemente, o teor de MO), envolve o aumento directo da própria MO do solo, como é óbvio. Será por isso muito positiva, evidentemente, para a melhoria da agregação.

A experimentação que tem sido conduzida para avaliar o efeito da aplicação de fertilizantes na agregação do solo tem mostrado que a melhoria da agregação é mais apreciável quando se aplica conjuntamente MO e correctivo cálcico do que quando se aplica só um destes tipos de fertilizantes. A razão de ser de tal particularidade é clara, atendendo ao que foi dito a propósito da génese dos agregados.

### *Gestão dos resíduos das culturas*

Ao invés das práticas tradicionais, a quantidade máxima possível dos resíduos das culturas deve ser deixada no solo, tendo em vista a agregação e o teor de MO. É também boa prática que esses resíduos, inclusive, garantam a cobertura do solo nos intervalos de tempo entre culturas consecutivas. Haverá assim um efeito favorável no aumento do teor de MO e simultaneamente conseguir-se-á uma melhor protecção da superfície do solo, tanto contra a radiação solar (menor temperatura menor mineralização de MO) como contra a acção do impacto de eventuais chuvadas (actuando directamente na destruição de agregados).

Pode afirmar-se, como síntese do exposto, que usando sistemas de agricultura em que se considerem as práticas culturais referidas é possível manter e "fabricar" uma boa agregação do solo. Um caso que pode servir de exemplo de "fabrico" de boa agregação é o que se passa com a recuperação dos *Solos Sódicos*, por natureza com má agregação (devido à sua elevada percentagem de Na<sup>+</sup> de troca) e que acabam por adquirir boa agregação depois de recuperados. Com efeito, a técnica de recuperação destes solos compreende um conjunto de operações, todas elas fundamentais para a formação de agregados favoráveis do ponto de vista agrícola. Essas operações incluem: (a) a *gessagem*, que leva à substituição do excesso da Na<sup>+</sup> de troca por Ca<sup>2+</sup>, ficando assim o solo com nível adequado de cálcio determinante de flocculação e, logo, de agregação; (b) a *aplicação de estrume ou outros fertilizantes orgânicos*, levando assim a um aumento directo da MO (sem esta não haverá boa agregação, por falta de estabilização dos agregados); (c) a *instalação de plantas melhoradoras* da agregação (gramíneas) durante dois ou três anos, que não visa qualquer produção mas, sim, a sua incorporação no solo; deste modo, além do efeito favorável da planta em si (através do sistema radical), contribui-se também para o aumento do próprio teor de MO do solo.



#### 6.4.2. Acção dos condicionadores do solo na agregação

Pode-se actuar directamente na agregação do solo com a aplicação de correctivos que são conhecidos pela designação de *condicionadores do solo*. Os condicionadores são polímeros orgânicos sintéticos de longa cadeia linear e flexível, de natureza aniónica, cationica ou não-iónica. Estabelecem ligações com os minerais de argila que são essencialmente do tipo: (i) ligações electrostáticas por atracção directa de cargas do polímero com cargas de sinal contrário dos minerais de argila; (ii) pontes de iões entre cargas iguais dos minerais de argila e do polímero orgânico; (iii) forças de Van der Waals.

Aplicam-se ao solo sob a forma de pó, solução ou emulsão, em doses de 0,02 a 0,10% do peso de solo. Considera-se que 1 kg de condicionador tem um poder de agregação correspondente a 100-500 kg de MO. A acção do condicionador é imediata, admitindo-se que actua dentro de 24 horas. Além disso o seu efeito é duradouro (de longa permanência), pois tratando-se de um polímero orgânico sintético ele é muito resistente a qualquer acção microbiana (inclusive, à mineralização).

Não é bem conhecido o modo como actuam, mas admite-se que não tenham uma intervenção directa na formação dos agregados. A acção do condicionador será, sim, a de cimentar e estabilizar conjuntos de partículas já existentes, pelo que a aplicação do condicionador só terá eficiência se o solo tiver sido previamente granulado através de mobilizações adequadas. Interessam, evidentemente, para solos de textura média a fina. Os condicionadores são produtos relativamente caros e por isso não são ainda aplicáveis extensivamente.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Botelho da Costa, J. 1975 - *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- Brady, N.C. 1999 - *The Nature and Properties of Soils*. 9<sup>th</sup> edition. MacMillan Publishing Company. New York.
- Brady, N.C. & Weil, R. R. 2008 - *The Nature and Properties of Soils*. 14<sup>th</sup> edition revised. Pearson International Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey
- Gaucher, G. 1968 – *Traité de Pédologie Agricole. Le Sol et Ses Caractéristiques Agronomiques*. Agronomie Moderne (Collection dirigée par M. Marbut & J. M. Clément). Dunod, Paris.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.

- Jahn, R., Blume, H.-P. & Asio, V.B. (2003). Students guide for soil description, soil classification and site evaluation. International Seminar on Field Examination and Ecological Evaluation of Soils, Baybay, Leyte (Philippines), April 21-24. Leyte State University and University of Halle (Saale), IUSS Commission Soil Geography, Philippine Society of Soil Science and Technology. Halle/Saale.
- Jury, A.W., Gardner, W.R. & Gardner, W.H. 1991. *Soil Physics*. 5<sup>th</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Monteiro, F.G. (2004). *Factores Determinantes do Hidromorfismo em Solos do Sul de Portugal*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Oades, J.M. (1993). The role of biology in the formation, stabilization, and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Pinto Ricardo, R. 1972/73. *Pedologia e Conservação do Solo. Aulas práticas*. AEA, Lisboa.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research* 79:7-31.
- SSS. 1951 - *Soil Survey Manual*. U.S. Dept. of Agriculture. Washington.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 33:141-163.
- White, R. E. 1987 - *Introduction to the Principles and Practice of Soil Science* (2<sup>nd</sup> Edition). Blackwell Scientific Publications. Oxford.