

Águas Subterrâneas

Cap.

57

São consideradas águas subterrâneas as águas que, numa determinada fase do ciclo hidrológico, se encontram no espaço subterrâneo, dentro das rochas e solos da crosta terrestre. O conjunto águas subterrâneas/rochas que as alojam designa-se por aquífero. Os aquíferos são definidos pela sua hidrodinâmica, ou movimento da água, pela sua hidroquímica, ou quimismo da água, pela hidrobiologia, ou biologia interna da água, e pelas características evolutivas, ou seja, a alteração das características das suas águas ao longo do tempo.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas (este capítulo diz respeito às *águas subterrâneas de consumo corrente* que por facilidade de linguagem, se designam, habitualmente, apenas *águas subterrâneas*) fazem parte do ciclo hidrológico, correspondendo à componente desse ciclo que se passa debaixo do solo. As águas de precipitação que ocorrem nos continentes têm, ao atingir o solo, três vias naturais de saída: ou se evaporam e voltam à atmosfera, ou escoam superficialmente para rios, lagos e finalmente para o mar, ou se infiltram no solo e entram no ciclo subterrâneo, o que pode ocorrer durante apenas algumas horas, durante dias ou meses, ou mesmo durante anos ou milhares de anos, dependendo das características do escoamento e dos aquíferos onde ocorre. As águas subterrâneas são depois descarregadas, através de nascentes, para os rios, para lagos ou para o mar. A maior parte destas nascentes não são directamente perceptíveis, pois situam-se debaixo dessas massas de água, sendo de muito difícil quantificação directa.

CIRCULAÇÃO DA ÁGUA NO SUBSOLO

Quando penetram no solo, as águas passam por uma zona designada por “não saturada” (fig. 57.1), onde os poros do solo ou os poros e fracturas das rochas se encontram maioritariamente preenchidos por ar, embora contenham também uma componente líquida mais ou menos importante. Aí, a água encontra-se basicamente ligada à rocha através de forças capilares. As águas atravessam esta zona através de um movimento essencialmente vertical, controlado pela gravidade, até chegarem à designada “zona saturada”, onde todos os poros e fracturas da rocha se encontram preenchidos por água. Abaixo dessa superfície, a designada “superfície freática”, define-se o “aquífero” (conjunto água-rocha). Os aquíferos mais superficiais apresentam muitas vezes pontos de contacto com as águas superficiais, onde há uma grande interacção entre ambos os meios, consoante a época do ano. Por vezes os circuitos da água são mistos, com partes do ciclo a ocorrerem subterraneamente durante algum tempo e parte a ocorrer superficialmente, podendo ocorrer ciclos sucessivos superficial-subterrâneo-superficial. Nesta interacção, alguns microorganismos ou mesmo organismos já com alguma dimensão podem passar de uma vida à superfície para uma vida subterrânea, e vice-versa.

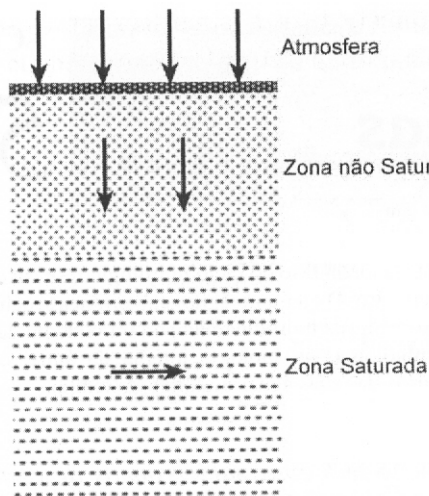


Fig. 57.1 – Infiltração de água no solo, circulação na zona não saturada e entrada na zona saturada (aquífero).

TIPO DE AQUÍFEROS

Do ponto de vista do seu armazenamento, as águas subterrâneas podem localizar-se em três tipos de aquíferos com características distintas (fig. 57.2):

- Aquíferos em meios porosos
- Aquíferos em meios fracturados
- Aquíferos em meios cársicos

Os **aquíferos em meios porosos** ocorrem em litologias características de rochas sedimentares não consolidadas (mais tipicamente areias, fig. 57.2a) ou em rochas sedimentares do mesmo tipo, mas já com algum grau de consolidação que não lhes retire o seu carácter poroso (fig. 57.2b).

Os **aquíferos em meios fracturados** ocorrem em litologias fundamentalmente ígneas e metamórficas, embora também possam ocorrer em rochas sedimentares consolidadas (arenitos por exemplo)

ou em rochas carbonatadas não carsificadas. A característica principal deste tipo de aquífero é a transmissão da água ocorrer essencialmente através de fracturas (fig. 57.2c), a chamada porosidade secundária, e não através de um meio poroso.

Os **aquíferos em meios cársicos** ocorrem em litologias fundamentalmente ígneas e metamórficas, embora também possam ocorrer em rochas sedimentares consolidadas (arenitos por exemplo)

ou em rochas carbonatadas não carsificadas. A característica principal deste tipo de aquífero é a transmissão da água ocorrer essencialmente através de fracturas (fig. 57.2c), a chamada porosidade secundária, e não através de um meio poroso.

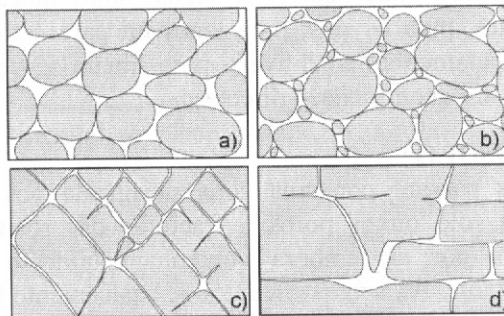


Fig. 57.2 – Características dos aquíferos porosos, fracturados e cársicos (adaptado de MacDonald et al. 2005).

- a. Elevada porosidade - areias e seixos não consolidados
- b. Porosidade reduzida por cimentação ou por argilas e siltes
- c. Porosidade devida a fracturas em rochas cristalinas
- d. Porosidade aumentada por dissolução em rochas calcárias fracturadas

Os **aquíferos cársicos** podem ser considerados uma variedade de aquíferos fracturados, mas com uma característica especial: as fracturas onde ocorre o fluxo principal são alargadas por dissolução (fig. 57.2d), podendo atingir dimensões muito grandes (grutas, por exemplo). Este tipo de aquífero surge em rochas carbonatadas afectadas por fenómenos de dissolução química, geralmente calcários e dolomitos.

Dentro dos aquíferos porosos pode ainda ser estabelecida uma classificação relativa ao posicionamento dos mesmos em função da recarga e da exposição à atmosfera (fig. 57.3):

- Aquíferos livres;
- Aquíferos confinados.

Os **aquíferos livres** apresentam contacto directo com a atmosfera através do ar contido nos poros ou nas fracturas da rocha. Os **aquíferos confinados**, também designados por **cativos**, encontram-se isolados da atmosfera através de uma camada impermeável ou semipermeável (neste caso os aquíferos são designados **semiconfinados**). Os primeiros têm recarga directa através da precipitação ou através de rios ou lagos que estejam em contacto com os mesmos, os segundos apresentam recarga indirecta, ou através das camadas semipermeáveis que lhes estejam sobrejacentes, ou através de recarga em áreas distantes onde o aquífero esteja em contacto com a atmosfera (fig. 57.3). Outra característica que permite identificar os aquíferos confinados é a pressão a que se encontra a água. Nos aquíferos livres, a água encontra-se, na sua parte superior, à pressão atmosférica, enquanto nos aquíferos confinados se encontra a uma pressão superior à atmosférica. A consequência deste facto é que, quando uma captação é efectuada num aquífero livre, o nível da água dentro da captação vai corresponder ao nível da água no aquífero, enquanto numa captação num aquífero confinado a água sobe acima do tecto do aquífero, num processo designado por artesianismo (fig. 57.3). Nesta última situação, e caso a pressão seja suficiente, o nível da água na captação pode mesmo subir acima do solo (fig. 57.3). Neste caso, diz-se que o artesianismo é positivo ou repuxante e as captações designam-se por repuxantes. Existem ainda alguns aquíferos especiais, os designados aquíferos suspensos, os quais se encontram sobre camadas impermeáveis acima do nível freático regional das águas subterrâneas (fig. 57.3).

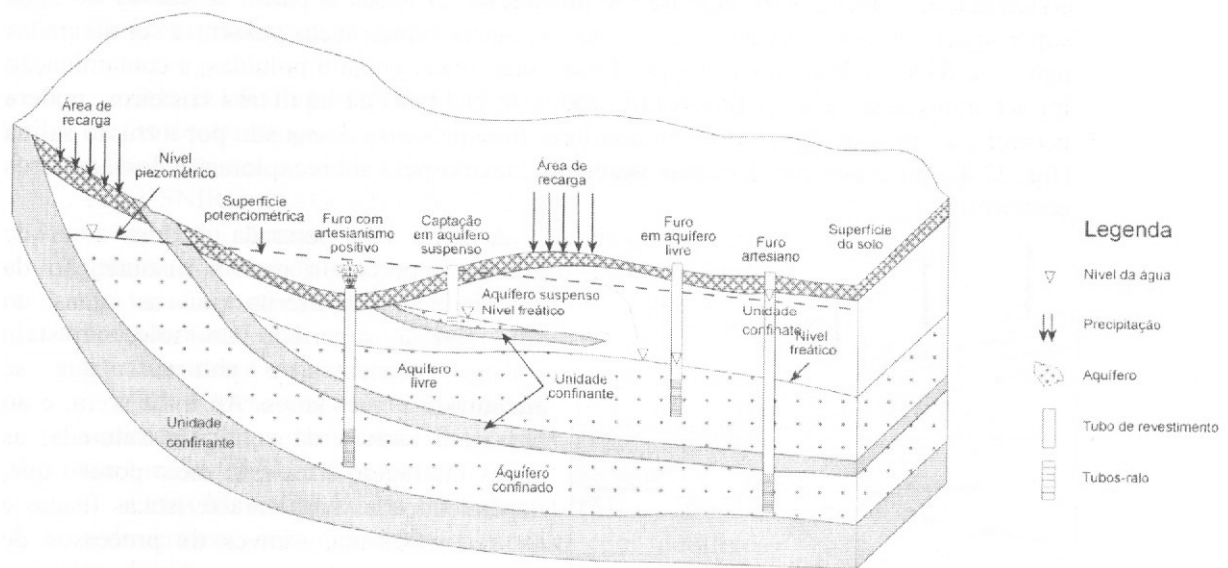


Fig. 57.3- Aquíferos livres, confinados e suspensos (adaptado de Todd et al., 2005).

O escoamento da água no interior dos aquíferos dá-se fundamentalmente na horizontal, dos gradientes mais elevados para os menos elevados. Na prática isto significa

que, se tivermos a cota do nível da água em dois poços dentro do mesmo aquífero, saberemos que a água se moverá nessa área do ponto de cota mais elevada para o de cota mais baixa.

HIDROQUÍMICA E HIDROBIOLOGIA DOS AQUÍFEROS

Do ponto de vista químico, a qualidade de uma água subterrânea está dependente de vários factores. Em primeiro lugar da qualidade da água de infiltração, em seguida das interacções dessa água com a biomassa, com os solos e com as rochas na zona não saturada e, finalmente, do tipo e tempo de interacção com as rochas dentro do aquífero.

Genericamente pode-se afirmar que, caso as águas de infiltração sejam fundamentalmente provenientes da precipitação, a sua composição química dependerá da localização geográfica, da topografia e do grau de poluição que possa existir na atmosfera. Por exemplo, as águas de precipitação junto a zonas costeiras têm geralmente uma composição mais cloretada sódica do que as águas de precipitação em áreas mais continentais, devido à vaporização de água marinha junto a zonas costeiras e à precipitação desses sais nas imediações da costa. Com o aumento da altitude há também uma tendência de redução dos iões mais pesados, os quais tendem a precipitar em áreas de menor altitude. Áreas afectadas por contaminação podem levar à precipitação de chuvas ácidas, com valores de pH que chegam a ser inferiores a 3, e com valores de sulfato muito elevados quando a contaminação se deve à combustão de carvão com concentrações elevadas de enxofre. A infiltração de águas a partir de cursos de água superficiais, lagos ou oceanos, leva a que as águas subterrâneas passem a ser afectadas pela qualidade da água nesses meios. Caso essas águas estejam poluídas, a contaminação irá ser transmitida à água do próprio aquífero. No caso de aquíferos costeiros, poderá ocorrer a entrada de água salina no aquífero, num processo designado por intrusão salina (fig. 57.4), processo que é muitas vezes potenciado pela sobreexploração dos aquíferos costeiros.

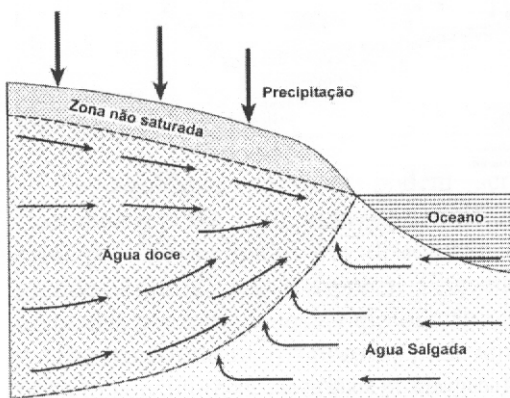


Fig. 57.4- Interface água doce-água salgada em zonas costeiras.

A zona não saturada é uma zona de grande importância para a manutenção da qualidade dos aquíferos, pois as águas, ao atingirem a superfície do solo, arrastam consigo nutrientes e poluentes que se encontram nesses solos. Ao infiltrarem, e ao passarem através da zona não saturada, as águas interagem com esse meio poroso que, dependendo das suas características físicas e da sua espessura, através de processos de filtração, interacção química (troca catiónica, adsorção, por exemplo), ou seja, através da sua capacidade de retenção e de depuração, leva a uma purificação da água. Quanto mais finos e reactivos forem os componentes da

zona não saturada e mais espessa for a mesma, maior a capacidade de depuração dessa camada.

Depois de se encontrar no aquífero, a água subterrânea interage com as rochas onde se encontra inserida. O grau de reactividade da água depende da sua composição original (pH, mineralização total e tipo de mineralização que possui) e do grau de alterabilidade dos minerais da rocha (rochas muito siliciosas, como os quartzitos, podem ser quase imunes à alteração, rochas básicas ou carbonatadas, por exemplo, contêm minerais que podem ser fortemente alterados por ataque químico da água). O grau de mineralização final da água subterrânea acaba por ser também definido em função do tempo de contacto água/rocha. Quanto mais tempo a água estiver em contacto com o meio envolvente, mais mineralizada tenderá a ficar, podendo, no caso de tempos de residência de milhares ou mesmo milhões de anos, atingir concentrações características de salmouras. Este tipo de águas muito mineralizadas está geralmente associado a aquíferos profundos a muito profundos (por vezes a quilómetros de profundidade na crosta terrestre).

Quanto à biologia da água, é muito comum que alguns microorganismos de águas superficiais passem a viver dentro das águas subterrâneas, nomeadamente durante períodos de águas revoltas nos rios. Para não serem arrastados nas torrentes, alguns destes microorganismos enterram-se nas vazas dos fundos dos rios e voltam ao mesmo depois da turbulência passar. Mas há também organismos a viver em permanência dentro das águas subterrâneas, microorganismos em aquíferos porosos ou fracturados, e mesmo organismos com dimensões visíveis dentro de meios cársicos (crustáceos, peixes, etc.).

AQUÍFEROS EM PORTUGAL CONTINENTAL

Os aquíferos em Portugal continental inserem-se em quatro grandes unidades geoestruturais (Almeida et al., 2000, SNIRH-INAG, 2011- fig. 57.5):

-Maciço Antigo (A) – Rochas fundamentalmente ígneas e metamórficas, com aquíferos essencialmente fracturados e/ou cársicos, embora dentro desta área sejam considerados alguns aquíferos sedimentares (por se situarem sobre essas rochas).

-Orla Meso-Cenozóica Ocidental (O) – Rochas sedimentares carbonatadas e porosas, com aquíferos fracturados/cársicos e porosos.

-Orla Meso-Cenozóica Meridional (M) – Rochas sedimentares carbonatadas e porosas, com aquíferos fracturados/cársicos e porosos, equivalente, no Algarve, à Orla Ocidental.

Fig. 57.5– Grandes unidades hidrogeológicas em Portugal continental (Almeida et al. 2000, SNIRH-INAG 2011).



-Bacia Terciária do Tejo-Sado (T) – Fundamentalmente rochas sedimentares, com algumas rochas carbonatadas, e com aquíferos essencialmente porosos, embora ocorram também alguns níveis com características cársicas.

Na explanação das características dos sistemas aquíferos dentro de cada uma destas unidades geoestruturais serão utilizados alguns conceitos hidrogeológicos cujo significado será:

- **Produtividade** – Volume de água que pode ser obtido de uma captação. Os valores aqui apontados foram recolhidos, a partir de bibliografia variada, por Almeida et al. (2000), ERHSA (2001) e Chambel *et al.* (2006). Em termos de exploração das captações, tem de haver alguma reserva no uso destes valores, uma vez que há factores que intervêm nessa análise e que não são aqui contemplados, como o número de horas de bombeamento consecutivo numa captação, a capacidade de armazenamento de água no aquífero (definido como o coeficiente de armazenamento, S), a extensão do aquífero, entre outros.

- **Transmissividade (T)** – Trata-se de um dos parâmetros mais importantes para a caracterização hidrodinâmica de um aquífero. Representa, na prática, a capacidade que um meio hidrogeológico tem de transmitir água. É dada por um valor que quantifica o volume de água subterrânea que escoia através de uma secção vertical do aquífero quando se diminui a carga hidráulica em uma unidade num determinado horizonte temporal. Expressa-se geralmente em m²/dia ou cm²/s. Como exemplo, se um aquífero for caracterizado por um valor de T=100 m²/dia, isso significa que, por cada metro de espessura desse aquífero, passam, por dia, 100 m³ de água. Estes valores são geralmente obtidos através da execução e interpretação de ensaios de caudal em captações. Não sendo um valor fácil de obter, devido muitas vezes à exiguidade de ensaios de caudal disponíveis, só existem dados para alguns dos sistemas aquíferos em causa.

- **Fácies hidroquímica** – Classifica, do ponto de vista químico, uma água subterrânea. Para essa classificação são usados os iões (aniões e catiões) principais existentes numa água (Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺). A classificação é feita através da designação dos aniões e catiões existentes em maior percentagem dentro de cada amostra de água.

Os dados referentes aos aquíferos das diferentes unidades geoestruturais são baseados em Almeida et al. (2000), ERHSA (2001) e Chambel *et al.* (2006).

Maciço Antigo (Maciço Hespérico)

Devido à complexidade geológica e estrutural do território continental português, os aquíferos identificados nas rochas ígneas e metamórficas integram quase sempre litologias muito diferenciadas. Dos dezoito aquíferos identificados até ao momento no Maciço Antigo, apenas dois se encontram em bacias sedimentares sobrejacentes ao maciço cristalino (aquíferos porosos). Nove dos aquíferos são do tipo fracturado e os restantes seis do tipo cársico. Como dezasseis dos dezoito aquíferos se encontram no Alentejo, na figura 57.6 localizam-se apenas os aquíferos identificados até ao momento nessa região. Os aquíferos com letra maior são os que se encontram inscritos no *Sistema*

Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH. Os restantes correspondem aos que foram identificados durante o Projecto ERHSA, em 2001.

Nas rochas metamórficas são muito importantes, em termos de produtividade, os aquíferos fracturados/cársicos, em rochas carbonatadas, principalmente mármore e dolomitos. Estão neste caso os aquíferos da Escusa, na região de Portalegre, Monforte-Alter do Chão, Estremoz-Cano, Elvas-Vila Boim, Viana do Alentejo-Alvito, Portel e Moura-Ficalho. Alguns destes aquíferos apresentam especificidades, como por exemplo Estremoz-Cano, em que na parte do Cano surgem tufos calcários recentes, Monforte-Alter do Chão, com alguns gabros associados, Elvas-Vila Boim, com algumas corneanas associadas, Viana do Alentejo-Alvito, com rochas silicatadas e o de Portel, com uma grande diversidade litológica, onde se incluem micaxistos, rochas verdes, quartzitos, rochas quartzo-feldspáticas, xistos e metagrauwaques.

Ainda em rochas metamórficas, mas com características marcadamente fracturadas, é identificado o aquífero do Luso, em quartzitos (no centro do país, não representado na fig. 57.6). Outros aquíferos fracturados em rochas metamórficas são o dos Charnuquitos de Campo Maior e Elvas, em rochas gabróicas e ultrabásicas metamorfizadas, e o do Escoural, em xistos gresosos, metavulcanitos, quartzitos, ortognaisses, migmatitos, calcoxistos e mármore.

Outros aquíferos fracturados, de carácter misto (rochas ígneas e metamórficas) são os de Montemor-o-Novo e Cuba-S. Cristóvão (em gnaisses, migmatitos, granodioritos, quartzodioritos, tonalitos, alguns gabros e corneanas), o de Vidigueira-Selmes (metavulcanitos básicos, granodioritos, dioritos e corneanas) e o dos Gabros de Beja (gabros, anortositos, serpentinitos e metavulcanitos básicos).

Em rochas sedimentares sobre o Maciço Antigo, estão identificados dois aquíferos, o da Veiga de Chaves (no norte do país, na zona de Chaves, não representado na fig. 57.6), em sedimentos de erosão das rochas ígneas envolventes (casca-lheiras, areias e argilas), depositados numa estrutura de falha, e Elvas-Campo Maior, em sedimentos margosos, arenitos margosos e argilas, no Alentejo, na zona fronteira com Espanha.

No Maciço Antigo, os aquíferos mais produtivos são os

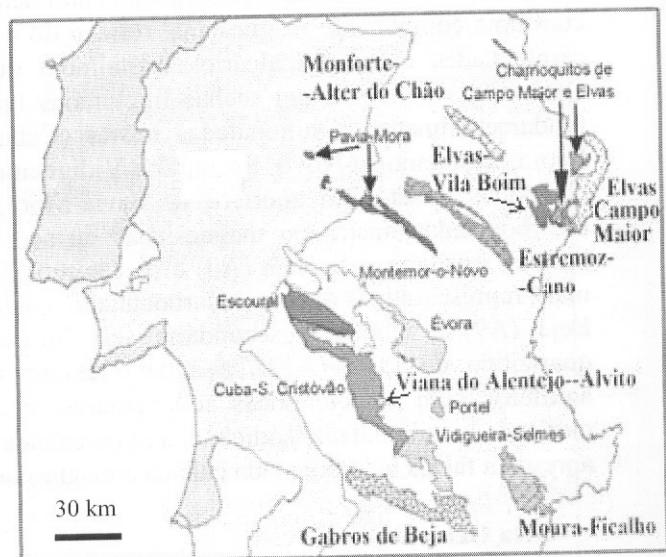


Fig. 57.6- Aquíferos definidos no Maciço Antigo na região do Alto Alentejo, de acordo com Almeida et al. (2000) e ERHSA (2001).

que apresentam características cársicas, com valores medianos entre os 1,7 l/s (aquífero de Elvas-Vila Boim) e aproximadamente 23 l/s (aquífero de Viana do Alentejo-Alvito). Para os três aquíferos em rochas metamórficas fracturadas o valor mediano é de 3,03 l/s para os Charnoquitos de Campo Maior e Elvas, 3,7 l/s para o de Vidigueira-Selmes, e foi medido o valor de 39 l/s para a nascente de S. João, no aquífero do Luso. Em relação aos aquíferos fracturados em rochas ígneas e metamórficas, os valores de produtividade mediana são relativamente uniformes, e andam entre os 2,75 l/s (Cuba-S. Cristóvão) e os 4,71 l/s (Vidigueira-Selmes). Os dois aquíferos em formações sedimentares apresentam respectivamente medianas de 1,5 l/s (Veiga de Chaves) e de 4,03 l/s (Elvas-Campo Maior).

Os valores máximos de transmissividade (T) são, para os aquíferos com características cársicas, até cerca de 3 500-4 000 m²/dia (Moura-Ficalho e Viana do Alentejo-Alvito). Para o aquífero da Escusa, os valores mais frequentes são entre 123 m²/dia e 474 m²/dia e para o de Elvas-Vila Boim o valor máximo detectado foi de 171 m²/dia. Para os aquíferos em rochas ígneas e metamórficas, os dados disponíveis mostram valores entre os 37 m²/dia e os 193 m²/dia para o aquífero de Évora (baseado em cinco ensaios), que a mediana dos valores para os Gabros de Beja é de 69 m²/dia e que, no único ensaio de caudal no aquífero de Vidigueira-Selmes, esse valor foi de 40 m²/dia. Os aquíferos em rochas sedimentares apresentam uma mediana de 42 m²/dia para a Veiga de Chaves e valores entre 8 m²/dia e 93 m²/dia para o de Elvas-Campo Maior.

Quanto à caracterização hidroquímica, os aquíferos carbonatados (fracturados/cársicos) apresentam fácies fundamentalmente bicarbonatadas cálcicas, mas sempre com uma componente magnesianas, reflexo do contacto da água subterrânea com rochas carbonatadas cálcicas (calcários cristalinos) ou magnesianas (dolomitos cristalinos). Quanto aos aquíferos em rochas fracturadas ígneas e/ou metamórficas, surgem fácies fundamentalmente bicarbonatadas mistas (Cuba-S. Cristóvão), mas, nos aquíferos de Évora, Montemor-o-Novo, Escoural e Vidigueira-Selmes, com componentes secundárias cloretadas mistas. No aquífero de Pavia-Mora, as fácies dominantes são cloretadas-bicarbonatadas mistas ou magnesianas ou sódicas. Para os aquíferos de rochas mais básicas, os Gabros de Beja (A9) e os Charnoquitos de Campo Maior e Elvas, as fácies mais representativas são as bicarbonatadas calco-magnesianas, embora nos Gabros de Beja (A9) a tendência secundária seja bicarbonatada cálcica. Quanto ao aquífero quartzítico do Luso (A12), a água é claramente cloretada sódica. Em relação aos aquíferos com características sedimentares, o da Veiga de Chaves apresenta fácies cloretada-bicarbonatada sódica e sódico-cálcica, enquanto o de Elvas-Campo Maior apresenta fácies bicarbonatada cálcica e magnesianas.

Orla Ocidental

A Orla Meso-Cenozóica Ocidental apresenta principalmente aquíferos porosos e cársicos ou mistos, estes últimos com ambas as características. Muitos são multicamada, ou seja, há aquíferos sobrepostos, por vezes com características diferentes (cársico e poroso). Estão definidos vinte e sete aquíferos nesta área (fig. 57.7).

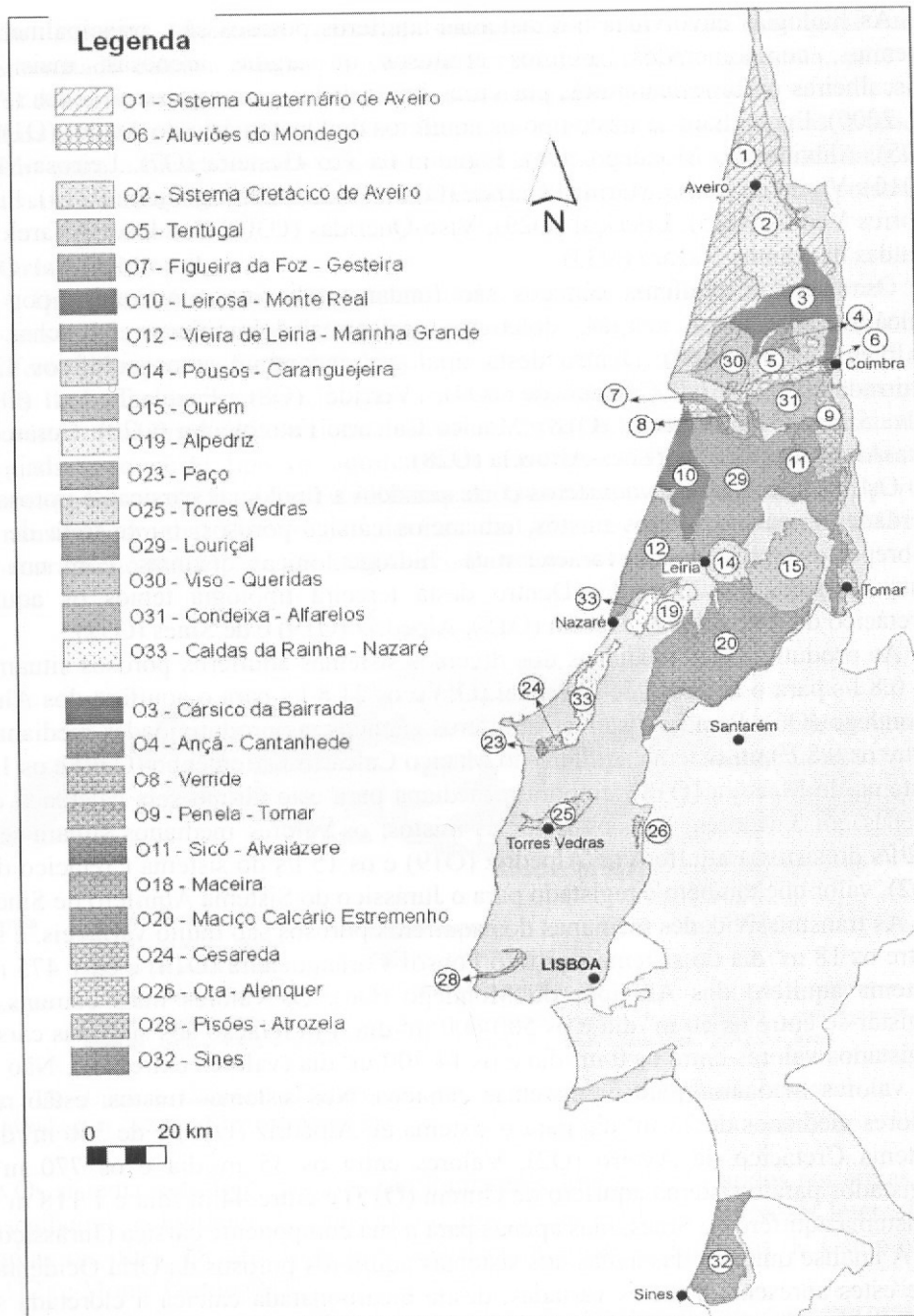


Fig. 57.7- Unidades hidrogeológicas definidas na Orla Ocidental, em Portugal continental (Almeida et al. 2000; SNIRH-INAG 2011).

As litologias envolvidas nos sistemas aquíferos porosos são, principalmente, areias, arenitos, conglomerados, arenitos argilosos ou argilas arenosas, mais raramente cascalheiras ou biocalcarenitos, por vezes intercaladas com argilas ou lodos (Almeida et al. 2000). Enquadram-se neste tipo os aquíferos do Quaternário de Aveiro (O1), Tentúgal (O5), Aluviões do Mondego (O6), Figueira da Foz-Gesteira (O7), Leirosa-Monte Real (O10), Vieira de Leiria-Marinha Grande (O12), Pousos-Caranguejeira (O14), Paço (O23), Torres Vedras (O25), Louriçal (O29), Viso-Queridas (O30), Condeixa-Alfarelos (O31) e Caldas da Rainha-Nazaré (O33).

Os sistemas aquíferos cársicos são fundamentalmente constituídos por calcários, calcários margosos, margas, dolomitos, calcários dolomíticos e brechas calcárias (Almeida et al. 2000). Dentro desta tipologia encontram-se os aquíferos Cársico da Bairrada (O3), Ançã-Cantanhede (O4), Verride (O8), Penela-Tomar (O9), Sicó-Alvaiázere (O11), Maceira (O18), Maciço Calcário Estremenho (O20), Cesareda (O24), Ota-Alenquer (O26) e Pisões-Atrozela (O28).

Os restantes sistemas aquíferos correspondem a tipologias cársicas e porosas: ou são verdadeiramente aquíferos mistos, em meios cársico-porosos, ou se trata de aquíferos sobrepostos apresentando características hidrogeológicas distintas, com um poroso e outro cársico, por exemplo. Dentro desta terceira tipologia temos os aquíferos do Cretácico de Aveiro (O2), Ourém (O15), Alpedriz (O19) e de Sines (O32).

As produtividades medianas dos diversos sistemas aquíferos porosos situam-se entre os 0,8 l/s para o aquífero de Tentúgal (O5) e os 21,8 l/s para o aquífero dos Aluviões do Mondego (O6). Para os sistemas aquíferos cársicos, as produtividades medianas variam entre os 0,8 l/s no sistema aquífero do Maciço Calcário Estremenho (O20) e os 14,5 l/s no sistema de Maceira (O18), embora a mediana para este último seja calculada com base apenas em 3 valores. Para os sistemas mistos, os valores medianos situam-se entre os 2,2 l/s do sistema aquífero de Alpedriz (O19) e os 15 l/s do sistema Cretácico de Aveiro (O2), valor que também é registado para o Jurássico do Sistema Aquífero de Sines (O32).

As transmissividades medianas dos aquíferos porosos são muito variáveis, e situam-se entre os 18 m²/dia do sistema aquífero Pousos-Caranguejeira (O14) e os 1 475 m²/dia do sistema aquífero dos Aluviões do Mondego (O6). Os valores mais comuns parecem registar-se entre os 50 m²/dia e os 500-600 m²/dia. Em relação aos sistemas cársicos, são registados valores entre os 0 m²/dia e os 14 700 m²/dia (valores extremos). Não há dados de valores medianos para os sistemas cársicos. Nos sistemas mistos, estão registados valores medianos de 23 m²/dia para o sistema de Alpedriz (O19) e de 340 m²/dia para o sistema Cretácico de Aveiro (O2). Valores entre os 35 m²/dia e os 770 m²/dia são registados para o sistema aquífero de Ourém (O15) e entre 44 m²/dia e 1 118 m²/dia para o sistema aquífero de Sines, mas apenas para a sua componente cársica (Jurássico).

A análise química das águas dos sistemas aquíferos porosos da Orla Ocidental mostra que estes apresentam fácies variadas, desde bicarbonatada cálcica a cloretada sódica (a maioria), sulfatada cálcica (Paço, O23), bicarbonatada sódico-magnésiana (parcialmente Torres Vedras, O25) ou cloretada-bicarbonatada sódica a bicarbonatada calco-sódica (Viso-Queridas, O30).

Os sistemas aquíferos cársicos apresentam quase exclusivamente tendência bicarbonatada cálcica. Apenas o sistema Penela-Tomar (O9) apresenta, para além da fácies descrita, também uma componente sulfatada cálcica ou mista.

Para os sistemas aquíferos mistos (cársicos e porosos), as tipologias hidroquímicas variam entre a bicarbonatada cálcica, a cloretada sódica, a bicarbonatada magnésiana e sódica ou a sulfatada sódica, sendo claramente as duas primeiras as mais representadas.

Orla Meridional

A Orla Meso-Cenozóica Meridional apresenta fundamentalmente sistemas aquíferos cársicos e, em menor quantidade, porosos ou mistos. Muitos são multicamada, ou seja, há aquíferos sobrepostos. Estão definidos dezassete sistemas aquíferos nesta área (fig. 57.8).

As litologias envolvidas são, para os sistemas aquíferos cársicos, fundamentalmente dolomitos, calcários dolomíticos, calcários, brechas, margas e calcários margosos. Enquadram-se neste tipo os aquíferos de Covões (M1), Almádena-Odeázere (M2), Querença-Silves (M5), Albufeira-Ribeira de Quarteira (M6), S. Brás de Alportel (M8), Almansil-Medronhal (M9), Chão de Cevada-Quinta de João de Ourém (M11), Peral-Moncarapacho (M13), Malhão (M14) e S. Bartolomeu (M16).

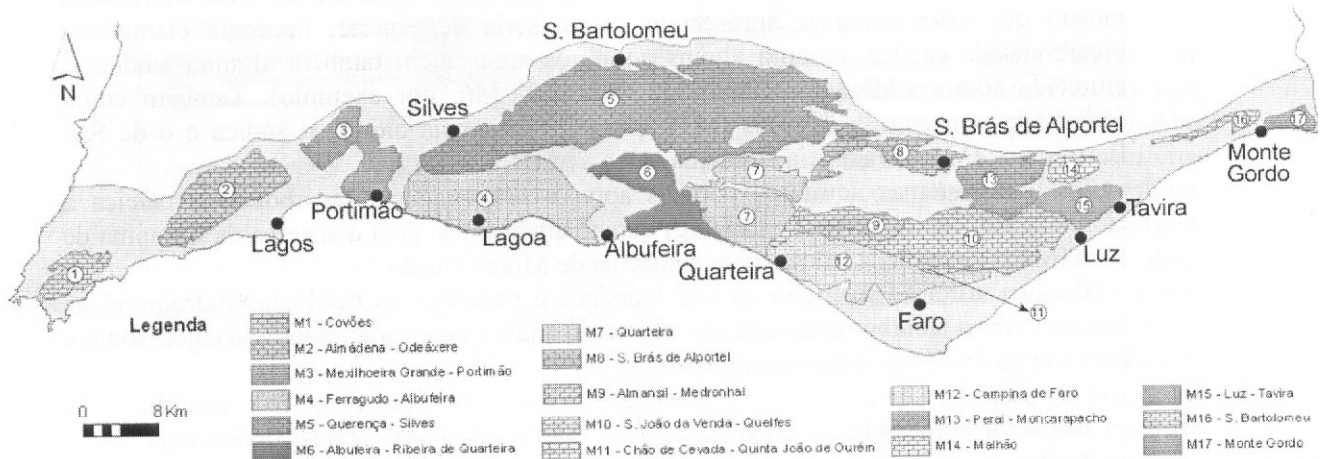


Fig. 57.8 – Unidades hidrogeológicas definidas na Orla Meridional, em Portugal continental (Almeida et al., 2000; SNIRH-INAG 2011).

Os sistemas aquíferos porosos são fundamentalmente constituídos por areias, arenitos, cascalheiras, conglomerados, biocalcarenitos, areias argilosas, por vezes intercalados com argilas ou siltes. Dentro desta tipologia encontram-se os aquíferos de Campina de Faro (M12) e Monte Gordo (M17).

Os restantes sistemas aquíferos correspondem a tipologias cársicas e porosas, em duas situações possíveis: ou são verdadeiramente aquíferos mistos, em meios cársico-porosos, ou se trata de aquíferos sobrepostos apresentando características hidrogeológicas

distintas, com um poroso e outro cársico, pelo menos. Estão dentro desta terceira tipologia os aquíferos de Mexilhoeira Grande-Portimão (M3), Ferragudo-Albufeira (M4), Quarteira (M7), S. João da Venda-Quelfes (M10) e Luz-Tavira (M15).

As produtividades medianas dos diversos sistemas aquíferos cársicos situam-se entre os 2,8 l/s para o sistema Peral-Moncarapacho (M13) e os 15,5 l/s para o aquífero de Covões (M1). Para os sistemas aquíferos porosos, a produtividade mediana do aquífero da Campina de Faro (M12) é de 6 l/s, enquanto a do aquífero de Monte Gordo se situa entre os 1,5 l/s e os 13 l/s. Para os sistemas mistos, os valores medianos situam-se entre os 5 l/s do sistema aquífero de Ferragudo-Albufeira (M4) e os 9 l/s do sistema de Quarteira (M7).

As transmissividades dos aquíferos cársicos são extremamente variáveis, e situam-se entre os 83 m²/dia e os 30 000 m²/dia, ambas obtidas no mesmo sistema aquífero, o de Querença-Silves (M5). Os valores mais comuns situam-se entre os 500 m²/dia e os 4 000 m²/dia. Em relação aos sistemas porosos, são registados valores entre os 336 m²/dia e os 916 m²/dia (também no mesmo aquífero, o de Monte Gordo, M17). Nos sistemas mistos, estão registados valores medianos entre os 5,6 m²/dia, para o sistema de Luz-Tavira (M15), e os 750 m²/dia para o sistema de Quarteira (M7).

A análise química das águas dos sistemas aquíferos cársicos da Orla Meridional mostra que estes sistemas apresentam, como seria de esperar, tipologia claramente bicarbonatada cálcica, embora alguns aquíferos apresentem também alguma tendência cloretada sódica (Albufeira-Ribeira de Quarteira, M6, por exemplo). Também como excepção, o sistema de Covões (M1) apresenta tendência cloretada sódica e o de São Bartolomeu (M16) tendência cloretada calco-sódica.

Os dois sistemas aquíferos porosos apresentam tendência bicarbonatada cálcica a cloretada sódica, ou mista (Ca-Na-Mg) quanto aos catiões, para o sistema da Campina de Faro (M12) e cloretada cálcica para o sistema de Monte Gordo.

Para os sistemas aquíferos mistos (cársicos e porosos), as tipologias hidroquímicas variam entre o bicarbonatado cálcico, cloretado sódico ou mesmo cloretado calco-sódico, com a primeira fácies como dominante.

Bacia do Tejo-Sado

Todos os aquíferos da Bacia Terciária do Tejo-Sado são caracteristicamente multicamada (multiaquíferos), ou seja, apresentam aquíferos sobrepostos. Trata-se de aquíferos essencialmente porosos, mas alguns deles são também constituídos por litologias carbonatadas. Estão definidos quatro aquíferos nesta área (fig. 57.9). As litologias envolvidas são, para o sistema aquífero das Aluviões do Tejo (T7), areias, argilas, seixos e calhaus nas Aluviões, e seixos, calhaus, areias e argilas nos Terraços Fluviais; para o sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado/Margem direita (T1), arenitos, argilas e calhaus nos Arenitos da Ota, e calcários, calcários margosos e margas, nos Calcários de Almoester; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda (T3), areias e argilas no Pliocénico, arenitos e argilas nos Arenitos da Ota, e arenitos calcários e margas na Série Calco-Gresosa Marinha; para a Bacia de Alvalade (T6), conglomerados, argilas,

margas, calcários gresosos, arenitos argilosos e cascalheiras. Com exceção da Bacia do Tejo-Sado/Margem direita (T1), que apresenta aquíferos confinados a semiconfinados, todos os outros apresentam aquíferos livres, confinados e semiconfinados.

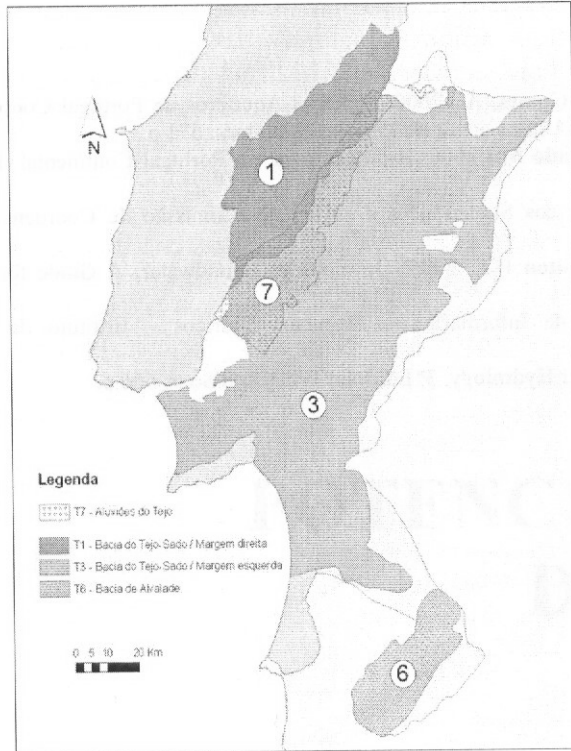


Fig. 57.9- Unidades hidrogeológicas definidas na Bacia do Tejo-Sado, em Portugal continental (Almeida et al. 2000; SNIRH-INAG 2011).

inferior (Arenitos da Ota), valores entre 20 m²/dia e 160 m²/dia; a Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda (T3), apresenta, para o Pliocénico, valores entre os 100 m²/dia e os 3 000 m²/dia, para os Arenitos da Ota, com valores mais frequentes entre os 45 m²/dia e os 179 m²/dia, e, para as Formações Gresos-Calcárias, valores mais frequentes entre os 127 m²/dia e os 693 m²/dia; para a Bacia de Alvalade (T6), não há registo de dados.

As análises químicas das águas dos aquíferos da Bacia do Tejo-Sado mostram que, para as Aluviões do Tejo (T7), as fácies predominantes são bicarbonatadas cálcicas, cloretadas sódicas ou mistas; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem direita (T1), o aquífero carbonatado superior (Calcários de Almoster) apresenta fácies bicarbonatada cálcica e o aquífero detrítico inferior (Arenitos da Ota) apresenta fácies cloretadas calco-magnesianas e bicarbonatadas calco-magnesianas; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda (T3), a fácies para o Pliocénico são cloretadas sódicas e cálcicas ou

As medianas dos valores de produtividade das Aluviões do Tejo (T7) são, para os aquíferos das Aluviões, 12 l/s, e, para os aquíferos dos Terraços Fluviais, 10 l/s; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem direita (T1), o aquífero carbonatado superior (Calcários de Almoster) apresenta mediana de 6 l/s e o aquífero detrítico inferior (Arenitos da Ota), 11,1 l/s; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem esquerda (T3), a mediana para o Pliocénico é de 15,5 l/s, para os Arenitos da Ota, 9,7 l/s, e, para as Formações Gresos-Calcárias, 35 l/s; para a Bacia de Alvalade (T6), a mediana é de 4,9 l/s.

As medianas dos valores de transmissividade das Aluviões do Tejo (T7) são, para os aquíferos das Aluviões, 1 493 m²/dia, e, para os aquíferos dos Terraços Fluviais, 1 573 m²/dia; para a Bacia do Tejo-Sado/Margem direita (T1), o aquífero carbonatado superior (Calcários de Almoster) apresenta valores entre 10 m²/dia e 130 m²/dia e o aquífero detrítico

bicarbonatadas calco-magnesianas, para os Arenitos da Ota, bicarbonatadas sódicas e cálcicas, e, para as Formações greso-calcárias, bicarbonatadas calco-magnesianas; para a Bacia de Alvalade (T6), as fácies predominantes são cloretadas-bicarbonatadas sódicas ou mistas.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida C., Mendonça J., Jesus M. R., Gomes, A.,** 2000. Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água/Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, 3 Volumes, 671 p.
- Chambel A., Duque J., Matoso A., Orlando M.,** 2006. Hidrogeologia em Portugal Continental. Boletín Geológico y Minero, 117 (1): 163-185.
- ERHSA,** 2001. Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo. Comissão de Coordenação da Região Alentejo, Évora.
- MacDonald A., Davies J., Calow R., Chilton P.J.,** 2005. Developing Groundwater: A Guide for Rural Water Supply. ITDG Publishing, 384 p.
- SNIRH-INAG,** 2011. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – Instituto da Água, <http://snirh.inag.pt/>
- Todd D. K., Mays L.W.,** 2005. Groundwater Hydrology, 3ª Ed, John Wiley and Sons, 656 p.