

**Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Silva, M. A. M. e
A. Serra (1999)**

**Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego,
Vouga e Lis**

IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de
Língua Oficial Portuguesa (IV SILUSBA), CD ROM,
Coimbra.

Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis

C. A. Costa Almeida

Professor Associado c/ agregação
Dep. Geologia, Fac. Ciências, Univ Lisboa
R. Ernesto Vasconcelos, Bloco C-2 1700 Lisboa

J. J. Lopo Mendonça

Professor Auxiliar
Dep. Ciências da Terra, Fac. Ciênc. Tecnologia, Univ. Coimbra
3000 Coimbra

M. A. Marques da Silva

Professor Associado
Dep. Geociências, Univ. Aveiro
3810 Aveiro

Alexandra Serra

Engº Civil, Directora da Unidade de Águas e Ambiente
FBO, Consultores, SA

Resumo

No âmbito dos Planos de Bacia das Bacias dos rios Mondego, Vouga e Lis, foi dado particular ênfase às unidades hidrogeológicas ocorrentes nas três bacias. Esta comunicação pretende apresentar, ainda que de forma sintética, uma panorâmica global dos aspectos hidrogeológicos mais significativos dessas unidades.

Foram individualizados sistemas e subsistemas aquíferos em cada uma das referidas bacias, alguns dos quais com evidente importância regional como origem de água para abastecimento.

Avaliam-se os Recursos Hídricos Subterrâneos (RHS) renováveis e caracterizam-se certos descritores hidrogeológicos e hidráulicos, alguns aspectos relativos ao funcionamento e estatísticas de alguns parâmetros.

Palavras-chave

Hidrogeologia, Mondego, Vouga, Lis, Recursos hídricos, Quantidade, Produtividade

1. Considerações Gerais

As características geológicas dos terrenos que formam uma bacia hidrográfica, constituem o principal factor que condiciona a possibilidade de armazenarem água e permitirem que ela circule no ambiente subterrâneo. Ou seja, a Geologia é o aspecto mais importante na consideração de unidades hidrogeológicas e na definição de formações aquíferas, boas ou pobres, aquíferos, aquíferos, aquíferos, etc.

Refletindo a Geologia, pode constatar-se que uma parte importante das áreas das Bacias Hidrográficas do Mondego e do Vouga, na parte Leste do grande acidente tectónico Porto-Tomar, é ocupada por rochas metassedimentares e eruptivas pertencentes ao domínio do **MACIÇO HESPÉRICO**, com escassa aptidão aquífera. Estas rochas dão origem a aquíferos muito pobres, em geral livres, descontínuos, de produtividade muito baixa, sendo aquele meio tradicionalmente designado por *cristalino*.

O Maciço Hespérico é o domínio de "rochas duras", onde a ocorrência e circulação da água se relacionam com as fracturas, superfícies de diaclasamento ou de xistosidade, quando a rocha se apresenta sã. Quando são importantes fenómenos de alteração, essas funções podem ter lugar entre os poros intergranulares resultantes dessa alteração. Frequentemente os dois tipos hidráulicos coexistem, havendo trocas entre as fracturas e os poros intergranulares.

No Maciço Hespérico predominam os granitóides, os xistos, os grauvaques e alguns quartzitos. Em sub-domínios localizados ocorrem depósitos de cobertura cujo comportamento hidrogeológico é característico dos meios porosos: os depósitos arcósicos e as aluviões.

A Poente do alinhamento Porto-Tomar, porém, as formações geológicas ocorrentes são tipicamente sedimentares. No seu conjunto, constituem a **ORLA MESO-CENOZÓICA OCIDENTAL**. É um domínio com grande espessura de sedimentos, de geomorfologia suave, com colinas calcárias e vales amplos, pouco profundos e com aluvionamento significativo. É também um domínio de grande variabilidade litológica, textural e estrutural. Abundam os carbonatos, os arenitos e os argilitos e, na cobertura quaternária ou plio-quaternária, os materiais arenosos desagregados que propiciam fácil infiltração da água das chuvas.

Sob o ponto de vista hidrogeológico, a Orla é caracterizada pela existência de alguns sistemas aquíferos importantes, relacionadas quer com formações detríticas, quer com formações carbonatadas. A organização sequencial dos sedimentos e a tectónica tiveram um papel importante na organização e distribuição daqueles sistemas. A organização sequencial dos sedimentos individualiza, verticalmente, formações com comportamento hidrogeológico diverso, criando alternâncias, mais ou menos cíclicas, de aquíferos, aquíferos e aquíferos. Ocorrem, assim, sistemas aquíferos multicamada, com escoamentos por drenância intercadas do sistema, de acordo com o potencial hidráulico local: genericamente descendente nas zonas de recarga e ascendente nas de descarga.

Algumas estruturas diapíricas deram origem a vales tifónicos onde, por efeito da erosão dos sedimentos evaporíticos, se formaram importantes bacias de sedimentação de material detrítico com elevado potencial aquífero. Noutros casos, as estruturas evaporíticas formam sub-domínios aflorantes ou sub-aflorantes (Leiria, Monte Real). Estes terrenos têm produtividade muito baixa e são local onde a água de circulação adquire forte mineralização, com fácies aniónicas cloretadas e/ou sulfatadas, que contaminam a água das formações adjacentes. Este tipo de contaminação também é comum nas águas da base dos sedimentos que preenchem os vales tifónicos.

No que respeita à circulação da água subterrânea no domínio da Orla Ocidental, pode considerar-se dois grandes tipos de sistemas aquíferos: os cársicos e os porosos. Os primeiros, suportados por calcários e dolomitos, com circulação em grande, por estruturas cársicas que se desenvolvem pela dissolução dos carbonatos, provocada pela própria água do escoamento do aquífero. A infiltração, quando a superfície se encontra carsificada, livre de cobertura sedimentar, é elevada, podendo atingir 50% da precipitação. Também a capacidade de armazenamento e transmissiva dependem da carsificação. Estes aquíferos em regra têm limitado poder de auto-regulação, bem evidenciado pelas grandes variações de caudal das importantes nascentes por onde descarregam e pela amplitude da variação dos níveis da água entre a época das chuvas e a estação seca.

A infiltração e o escoamento rápido pelas estruturas cársicas tornam estes aquíferos particularmente vulneráveis à poluição, com muito baixo poder autodepurador e com propagação rápida das contaminações.

Os sistemas aquíferos porosos, suportados pelas formações detríticas mesozóicas e algumas terciárias, são tipicamente multicamada. Entre os terrenos mesozóicos, os arenitos cretácicos sobressaem, nas três bacias aqui consideradas, pela sua importância aquífera.

Nas unidades quaternárias, caso das dunas e, parcialmente, nas aluviões e terraços, encontram-se muitas das vezes situações freáticas, eventualmente com passagens laterais a condições de confinamento ou semiconfinamento. Mas são unidades de elevada produtividade, com excepção dos terraços plistocénicos de produtividade mais modesta.

A parte ocidental das bacias do Mondego e Vouga situam-se na Orla, ao passo que a bacia do Lis está totalmente instalada neste domínio mesoceno-zóico, sendo constituída quase exclusivamente por terrenos sedimentares. Como excepção, apenas há a referir a presença de filões e pequenas massas de rochas eruptivas, de que o domo onde está situado o castelo de Leiria é um dos exemplos.

O estudo da hidrogeologia dos sistemas do Maciço Hespérico baseou-se em dados disponíveis sobre nascentes, galerias, poços, poços com drenos e galerias e furos.

Na Orla Mesozóica, a caracterização baseou-se essencialmente em elementos de relatórios de furos e, no caso dos sistemas aquíferos cársicos, em dados de nascentes.

2. Recursos Hídricos Subterrâneos Renováveis

2.1. Bacia Hidrográfica do Mondego

No âmbito do Plano de Bacia do Mondego, foram considerados na unidade Maciço Hespérico, os granitos, os xistos e grauvaques, os quartzitos, aluviões ligados a rios e depósitos arcósicos. Na Orla Ocidental individualizaram-se 14 Sistemas e Subsistemas Aquíferos e quatro sectores com formações de produtividade baixa a muito baixa.

Os Recursos Hídricos Subterrâneos (RHS) Renováveis dos sistemas hidrogeológicos definidos na Bacia Hidrográfica do Mondego estão sintetizados no Quadro 1.

Quadro 1- Recursos hídricos subterrâneos renováveis da Bacia Hidrográfica do Mondego.

Unidade	Sistemas Aquíferos	Recarga (mm/ano)	RHS Renováveis (hm ³ /ano)
Maciço Hespérico	Granitos	100	261
	Xistos e Grauvaques	100	178
	Quartzitos	150	7
	Aluviões do Maciço Hespérico	*	*
	Depósitos Arcósicos	80	23
Orla Mesocenozóica (Sistemas Identificados em INAG, 1997)	Aluviões do Mondego	300	48**
	Anã- Cantanhede	400	16
	Figueira da Foz-Gesteira	150	13
	Leirosa-Monte Real	350	77
	Liásico Penela-Tomar	150	26
	Sicó-Alvaiázere	360	118
	Tentúgal	150	26
	Vermoil	150	4
	Verride	430	5
Orla Mesocenozóica (Sistemas propostos)	Condeixa-Alfarelos	150	3
	Viso-Queridas	150	28
	Subsistema Cretácico de Lourçal	150	10
	Subsistema Miocénico de Lourçal	100	45
	Subsist. Plio-Quaternário de Lourçal	220	25
Orla Mesocenozóica (Formações pouco produtivas)	Jurássico Serras B. Viagem e Alhadas	70	5
	Jurássico Su. Anticlinal Verride	50	0.6
	Jurássico Superior de Pombal	60	6
	Triásico	60	6
TOTAL			930.6

* Aquíferos de muito pequena extensão subordinados aos cursos de água. RHS não determináveis

** Não inclui RHS exploráveis por infiltração induzida

2.2. Bacia Hidrográfica do Vouga

Na unidade Maciço Hespérico da bacia do Vouga não foram considerados os quartzitos devido à sua fraca expressão, pelo que das "rochas duras" se teve em conta Granitos e Xistos/grauvaques. Na Orla Mesoceno-zóica foram referidos os sistemas (e subsistemas) definidos por INAG (1997). No entanto alguns incluem parte da bacia do Mondego tal como se indica no Quadro 2, onde se apresentam os respectivos Recursos Hídricos Subterrâneos Renováveis. No subsistema Quaternário de Aveiro foram individualizados

Quadro 2 - Recursos hídricos subterrâneos renováveis da Bacia Hidrográfica do Vouga.

Unidade	Sistemas Aquíferos	Recarga (mm/ano)	RHS Renováveis (hm ³ /ano)
Maciço Hespérico	Granitos	100	95
	Xistos e Grauvaques	100	94
	Aluviões do Maciço Hespérico	*	*
Orla Mesoceno-zóica (Sistemas identificados em INAG, 1997)	Liásico a Norte do Mondego (Aquífero Cársico da Bairrada)	350	15**
	Subsistema Cretácico de Aveiro	150	11
	Subsistema Quaternário de Aveiro:		
	Plistocénico	170	53
	Base do Quaternário	400 (+ drenância)	10
	Dunas	400	200**
TOTAL			478

* Aquíferos de muito pequena extensão subordinados aos cursos de água. RHS não determináveis

** Incluem parte da bacia do Mondego

2.3. Bacia Hidrográfica do Lis

No âmbito do Plano de Bacia do Lis individualizaram-se 8 Sistemas Aquíferos, todos pertencentes à unidade Orla Mesoceno-zóica, sendo um deles exclusivo da Bacia e os outros partilhados pelas Bacias do Tejo, Mondego ou Ribeiras do Oeste. Os Recursos Hídricos Subterrâneos (RHS) Renováveis estão sintetizados no Quadro 3.

Quadro 3 - Recursos hídricos subterrâneos renováveis da Bacia Hidrográfica do Lis.

Sistemas Aquíferos	Recarga (mm/ano)	RHS Renováveis (hm ³ /ano)
Alpedriz	100	2
Maceira	230	1.5
Maciço Calcário Estremenho	450	350
Ourém	30	10
Pousos-Caranguejeira	110	3
Vieira de Leiria-Marinha Grande	300	90
TOTAL		466.5

Obs: não foram incluídos os sistemas comuns com a bacia do Mondego e já referidos no Quadro 1

2. Características Hidrogeológicas

2.1. Sistemas Aquíferos Descontínuos do Maciço Hespérico

2.1.1. Bacia do Mondego

Os resultados do tratamento estatístico dos dados inventariados confirmaram a produtividade genericamente baixa das captações de água subterrânea nas rochas duras do Maciço Hespérico na parte abrangida pela bacia do Mondego. Os valores que se destacam pela positiva estão associados a fenómenos de alteração e fracturação dos maciços rochosos. Por exemplo, os caudais médios dos furos em granitos e em xistos/grauvaques são 0.54 l/s e 2.4 l/s, respectivamente. Assim, o aproveitamento dos RHS destes sistemas é aceitável para pequenos abastecimentos locais, como vem sendo feito na actualidade.

Há alguma diferença na favorabilidade hidrogeológica dos três tipos de rochas duras consideradas: granitos, xistos e grauvaques e quartzitos. Em cada um destes tipos litológicos há também variabilidade das condições hidrogeológicas com a profundidade e com as estruturas que as intersectam.

Por exemplo, o caudal, o caudal específico e o índice caudal/profundidade dos furos são mais elevados nos xistos e grauvaques que nos granitos. Pelo contrário, o caudal das nascentes e das minas (captações superficiais) é maior nos granitos que nos xistos. Isto é, nos granitos, os materiais alterados e fracturados superficiais têm melhores características hidrogeológicas.

A ocorrência dos quartzitos em cristas de relevo vigoroso, dificulta o acesso a estas formações, excepto na intersecção com os vales, para onde drenam. A amostra de dados disponíveis é muito pequena mas esboça a tendência, geralmente aceite, de favorabilidade da hidrogeologia dos quartzitos relativamente à das outras rochas duras ocorrentes na Bacia Hidrográfica do Mondego.

As aluviões modernas, são estreitas faixas ao longo dos rios e claramente subordinadas a estes. Isto é, são aquíferos em que as reservas e os recursos intrínsecos são muito pequenos e muito inferiores aos recursos exploráveis. A exploração destes aquíferos induz a infiltração (captura) da água no leito dos rios e traduz-se, por isso, por um "prejuízo" no caudal do escoamento superficial. Sendo assim, os recursos disponíveis ou exploráveis destes aquíferos dependem quase exclusivamente do caudal do rio adjacente: o limite superior dos recursos é o caudal do rio. Conforme foi inventariado, é possível extrair caudais por captação da ordem da centena de litros/s. A qualidade da água subterrânea é idêntica à da água do rio; o aquífero desempenha apenas a função de filtro.

Os dados inventariados confirmam que os depósitos arcóicos são formações hidrogeológicas de condutividade hidráulica e produtividade baixas, da mesma ordem de grandeza ou eventualmente inferiores às mesmas características das rochas encaixantes (granitos e complexo xisto-grauváquico). Isto é, o seu aproveitamento só é perspectivável para pequenos a muito pequenos abastecimentos.

2.1.2. Bacia do Vouga

A caracterização hidrogeológica do "cristalino" da bacia do Vouga baseou-se em 97 relatórios de construção de captações de água, de qualidade medíocre ou mesmo má, com dados nem sempre fiáveis, o que, por si só, condiciona de forma drástica esta análise. Por outro lado, deve notar-se que os dados obtidos são muito escassos em toda a área que vem desde a serra da Lapa (cabeceiras da Bacia do Vouga) até às imediações de Sever do Vouga, com excepção da zona Vouzela/Oliveira de Frades.

Tendo em conta critérios essencialmente geológico/litológicos, foram considerados no Maciço Hespérico os seguintes grandes grupos:

- Rochas eruptivas (principalmente granitos e tipos litológicos afins);
- Rochas metamórficas e afins (nomeadamente xistos e grauvaques).

Os quartzitos têm reduzida expressão ao nível da bacia, pelo que não foram individualizados.

São raros os casos reconhecidos de captações no Maciço Hespérico da Bacia do Vouga com produtividades elevadas: nos dados disponíveis apenas há uma captação com o caudal de 8 l/s, mas deve advertir-se que se trata de caudal obtido em ensaio e não de caudal de trabalho. Foi efectuado um estudo comparativo das produtividades dos dois grandes grupos, representadas não pelo caudal de exploração, como desejaríamos, mas pelo caudal de ensaio constante nos relatórios de construção. A esta contrariedade, deve acrescentar-se a lacuna de não se considerarem as captações improdutivas, raramente indicadas.

No Quadro 4 apresentam-se as estatísticas principais que caracterizam estes grupos.

Quadro 4 - Produtividade de furos do Maciço Hespérico da bacia do Vouga (l/s).

	n	Média	Mediana	Desvio padrão	Coef. Variação (%)	Q ₁	Q ₃	Mínimo	Máximo
R.eruptivas	70	0,5	0,3	1,0	196,6	0,15	0,5	0,02	8,0
R.metamórf.	27	1,1	0,67	1,4	120,7	0,67	1,0	0,6	6,9

Também aqui se verifica que os xistos são mais produtivos que os granitos e de igual forma se confirma a baixa produtividade do designado "cristalino", o que justifica o seu aproveitamento apenas para pequenos abastecimentos de âmbito modesto.

Terraços aluvionares

Embora de formação geológica recente, os terraços aluvionares serão aqui considerados apenas por uma questão de mera sistemática.

Como é sabido, a característica hidrogeológica mais importante destes depósitos é a estreita ligação hidráulica Rio/aquífero. Constituem aquíferos livres, limitados por bordos impermeáveis (as duas margens do rio) e por um limite permeável que é o próprio rio.

A sua capacidade de armazenamento é praticamente insignificante face à recarga induzida a partir do rio para o aquífero quando as captações se encontram em funcionamento.

A sua importância reside no facto de proporcionarem a instalação de captações de grande produtividade que, por vezes, são a única origem de água para abastecimento público e, também, porque possibilitam explorações de volumes consideráveis "exportados" para outras regiões, onde se poderá diminuir ou mesmo anular a sobre-exploração de certas unidades aquíferas.

Na bacia do Vouga os aproveitamentos mais importantes são:

- Assequins - Águeda, em terraço do Rio Águeda, furos com caudais de 32 e 34 l/s e 2 poços c/ drenos com 150 Us.
- Macinhata - Águeda, poço c/ dreno, aluviões do rio Vouga, desconhecendo-se o caudal de exploração.
- Moinho da Ribeira - Salreu, Estarreja, terraço do rio Antuã, 2 furos com 30 l/s cada.
- Fuzeiras - Oliveira de Azeméis, poço c/ dreno, aluviões do rio Ínsua, caudal de 45 l/s.
- Macieira de Sarnes - Oliveira de Azeméis, terraço do rio Ul (Antuã), 2 poços c/ drenos, com caudal não conhecido.
- Cavadas - Couto de Cucujães, terraço do rio Antuã, poço c/ dreno, caudal de 23 l/s.
- Oliveira de Azeméis, aluviões do rio Ínsua, 2 poços c/ drenos, desconhecendo-se os caudais.
- Ponte de Burgães - Vale de Cambra, terraço do rio Caima, um poço c/ drenos caudais de 40 a 50 l/s.
- Carvoeiro - Águeda, terraço do Vouga, várias captações, caudal total de 600 l/s. É a principal origem de água da "Associação do Carvoeiro" que engloba os municípios de Murtosa, Estarreja, Albergaria-a-Velha, Águeda, Aveiro e Ílhavo.

Estâncias termais

Ainda no âmbito do MaciçoHespérico, deve destacar-se a ocorrência de importantes estâncias termais, nomeadamente em Luso e S. Pedro do Sul, as quais constituem expressão de recursos hídricos subterrâneos, conquanto especiais, e são factores de desenvolvimento regional de primeiríssima ordem.

2.2. Sistemas Aquíferos da Orla Mesocenozóica Ocidental

2.2.1. Bacia do Mondego

Actualmente, os furos são as captações que se constroem com mais frequência na Orla Mesocenozóica; nas zonas cársticas, tradicionalmente, faz-se o aproveitamento do caudal das nascentes que, em muitos casos, é abundante, embora com grandes variações sazonais.

O sistema da Figueira da Foz-Gesteira é aquele onde os furos são, em regra, mais profundos e mais penetrantes e onde a espessura da zona captante é maior relativamente à profundidade. Esclarece-se que este sistema aquífero tem sido a origem do abastecimento de água à cidade de Figueira da Foz e, por isso, as características da amostra estudada reflectem, além das propriedades do sistema, a exigência da procura.

O caudal dos furos (Quadro 5) é um bom índice das características e potencialidades dos sistemas aquíferos. Os furos que captam nos sistemas Aluviões do Mondego, Figueira da Foz-Gesteira e Leirosa-Monte-Real são os mais produtivos.

Quadro 5 - Produtividade (l/s) dos Furos dos Sistemas Aquíferos da Orla Ocidental pertencentes à bacia do Mondego.

Unidade	Sistema Aquífero	n	Q ₁	Mediana	Q ₃
Orla Mesocenozóica (Sistemas identificados em INAG, 1997)	Aluviões do Mondego	50	13,5	21,8	44,0
	Anã-Cantanhede	8	0,7	1,3	10,0
	Figueira da Foz-Gesteira	19	4,5	12,5	25,0
	Leirosa-Monte Real	76	3,1	10,0	20,0
	Liásico Penela-Tomar	8	1,6	1,7	3,7
	Sicó-Alvaiázere	13	1,4	4,0	5,0
	Tentúgal	16	0,4	0,8	2,0
	Vermoil	valores: 4,5; 13 e 14,5 l/s			
	Verride	não há informação			
Orla Mesocenozóica (Novos sistemas propostos no Plano)	Condeixa-Alfarelos	31	1,1	2,7	4,3
	Viso-Queridas	12	7,5	9,5	13,0
	Subsistema Cretácico de Lourçal	valores: 27,5; 37,5; 30,0; 40,0			
	Subsistema Miocénico de Lourçal	23	0,7	1,7	40,0
	Subsist. Plio-Quaternário de Lourçal	não há informação			

Nos aquíferos cársticos, a produtividade dos furos é muito variável: modesta quando construídos em zonas de fraca carsificação, muito produtivos quando perfurados nas imediações das zonas de exsurgências e/ou quando atravessam uma conduta cárstica importante.

As captações por nascente são particularmente importantes nestes sistemas cársticos. Os sistemas estudados apresentam exsurgências caudalosas, certamente associadas a redes cársticas bem organizadas, por onde descarrega a maioria dos recursos hídricos dos sistemas. Os caudais destas nascentes têm variações sazonais e interanuais de grandeza significativa.

Entre as captações dos aquíferos porosos, destacam-se os dois poços de drenos horizontais que abastecem a cidade de Coimbra, com caudal unitário de 625 l/s. A captação promove a infiltração induzida no leito da albufeira, num domínio onde as aluviões do Mondego são claramente subordinadas ao rio.

O caudal específico, além de medir o "rendimento" do furo de captação, é um indicativo sobre a transmissividade do aquífero ou da zona do aquífero captada. De acordo com os valores disponíveis, distinguem-se pela positiva dois sistemas aquíferos: Aluviões do Mondego e Leirosa-Monte Real.

Fez-se um esforço no sentido de determinar o maior número possível de valores da transmissividade. Para isso, seleccionaram-se ensaios de bombagem de alguma qualidade, o que, como é sabido, não é comum em muitos dos furos que vão sendo construídos por esse País fora. A grande maioria dos ensaios considerados são ensaios de captação ou de produtividade. Ensaios com observação em piezómetros (ensaio de aquífero), infelizmente, são muito pouco comuns.

Interpretaram-se 90 ensaios de bombagem pelo modelo de Theis ou pela aproximação logarítmica a este modelo. Os caudais específicos de meia centena de furos também foram considerados para estimar a transmissividade de sistemas menos documentados.

Também pela transmissividade se diferenciam pela positiva dois sistemas aquíferos: Aluviões do Mondego e Leirosa-Monte Real.

Relativamente ao coeficiente de armazenamento, só foi possível determinar 4 valores, todos respeitantes ao Sistema Aquífero Leirosa-Monte Real: 7×10^{-4} , $2,7 \times 10^{-3}$, 4×10^{-3} e 0,21. O último valor corresponde a aquífero livre e os restantes a aquífero confinado ou a aquífero semiconfinado.

2.2.2. Bacia do Vouga

Como se disse, a Orla Ocidental ocupa toda a área a Poente da falha Porto - Tomar e nela INAG (1997) considerou três grandes sistemas/subsistemas enquadrados na bacia do Vouga:

LIÁSICO A NORTE DO MONDEGO (ou AQUÍFERO CÁRSICO DA BAIRRADA),
SUBSISTEMA CRETÁCICO DE AVEIRO E SUBSISTEMA QUATERNÁRIO DE AVEIRO.

2.2.2.1. Liásico a Norte do Mondego

Do ponto de vista hidrogeológico, as unidades liásicas que se apresentam com maior interesse dada a sua produtividade, são as designadas "Camadas de Coimbra" e os "Calcários margosos de Lemedre". Entre ambos existe um conjunto essencialmente margoso conhecido por "Margas e calcários margosos de Vale das Fontes" e que funciona como aquífero.

O principal factor responsável pela circulação e armazenamento da água subterrânea é a carsificação, pelo que se começou a utilizar a designação de AQUÍFERO CÁRSICO DA BAIRRADA (Serrano e Garcia, 1997), com a qual concordamos plenamente.

Como é típico de meios cársicos, a dispersão de valores dos parâmetros hidráulicos é elevada, tal como a produtividade das captações construídas. Assim há captações com caudais elevadíssimos (furos de Anadia com 95 e 100 l/s), ao lado de outras abandonadas por serem improdutivas. Também na região dos Olhos da Fervença as captações da Câmara de Cantanhede produzem caudais superiores a 100 l/s, mas em furos próximos os caudais são muito baixos, por vezes inferiores a 1 l/s.

Uma análise sumária das características, produtividade e caudais específicos das várias captações a cujos relatórios tivemos acesso, permite esboçar algumas tendências espaciais, não devendo, contudo, ser esquecida a dispersão característica dos meios cársicos. Na zona Anadia - Curia encontram-se os furos mais produtivos, a par de poços junto aos Olhos da Fervença. Na estreita franja do Liásico que se desenha até Mealhada não se encontram furos de captação de alta produtividade, tal como mais para Norte, já no concelho de Oliveira do Bairro e até Fermentelos.

As estatísticas calculadas a partir de 62 dados de caudal apresentam-se no Quadro 6 e, como se pode ver, confirmam a dispersão referida.

Quadro 6 - Produtividade de captações do Aquífero Cársico da Bairrada

Mínimo	Máximo	Média	Desv. Padrão	Coef. Variação	Mediana	Q ₁	Q ₃
0,2	110	11,1	22,5	203,2%	3,2	1,8	8,5

(Valores em l/s)

2.2.2.2. Subsistema Cretácico de Aveiro

Tem sido o sistema mais explorado na parte terminal da bacia do Vouga, sendo, até há um ano, praticamente a única fonte de abastecimento urbano domiciliário e industrial dos concelhos de Aveiro e Ílhavo e de parte dos concelhos de Vagos e Murtosa. As produtividades variam entre 0,2 e 50 l/s, dependendo de vários factores.

O sistema apresenta características típicas de aquífero confinado, sendo o tecto materializado pela unidade cretácica mais recente, francamente argilosa. Este tecto confere-lhe uma grande protecção, quer a contaminantes de origem antrópica, quer à entrada de águas marinhas. Na parte oriental apresenta um sector livre onde as camadas permeáveis afloram ou se encontram subjacentes ao Quaternário. A recarga é, porém deficiente, e até há bem pouco tempo não compensava as extracções.

No seu conjunto, o Cretácico constitui um sistema multicamada, com vários subsistemas sobrepostos, com piezometrias e facies hidroquímicas diferenciadas. O conjunto aquífero principal (Marques da Silva, 1990) contém águas de qualidade razoável que, contudo, varia muito em função da sua posição espacial e das camadas exploradas. Na parte inferior (Belasiano) a mineralização aumenta, havendo águas de idade muito elevada (fluxo lentíssimo).

Foram interpretados vários ensaios de bombagem e de recuperação para determinação da transmissividade, sendo as estatísticas principais, apresentadas no Quadro 7 calculadas a partir de 92 dados.

Quadro 7 - Transmissividade do Cretácico de Aveiro (m^2/dia).

Média	D. padrão	Coef. Variação	Q ₁	Mediana	Q ₃	Mínimo	Máximo
338	178	53%	216	340	420	11	850

Os ensaios de bombagem também permitiram obter 65 valores de coeficiente de armazenamento, cujas estatísticas principais se apresentam no Quadro 8.

Quadro 8 - Coeficiente de armazenamento do Cretácico de Aveiro.

Média	D. padrão	Coef. Variação	Q ₁	Mediana	Q ₃	Mínimo	Máximo
$3,1 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$	383%	$4,8 \times 10^{-5}$	1×10^{-4}	7×10^{-4}	$4,5 \times 10^{-6}$	$8,2 \times 10^{-2}$

Os valores encontrados enquadram-se bem na gama de valores típicos deste parâmetro para aquíferos confinados.

2.2.2.3. Subsistema Quaternário de Aveiro

Foram individualizados:

a) Plistocénico: praias antigas e terraços fluviais associados.

Trata-se de uma unidade freática, porosa, podendo arbitrar-se valores de 0,5 a 2 m/dia para a permeabilidade e de 1% a 10% para a cedência específica como valores referência. É uma unidade aquífera pobre, pelo que se considera adequada a captação por poços tradicionais que permitem a exploração de volumes razoáveis em curtos tempos de extracção e recuperações muito lentas para reposição do volume do "depósito".

Estes depósitos são muito vulneráveis à entrada de contaminantes, o que infelizmente se tem verificado na prática. Destaque-se que, na maior parte da área, cada casa tem uma fossa séptica, quantas vezes mal construída e a distâncias pequenas do poço, a que se deve acrescentar a existência de currais. Acresce-se ainda o recente incremento no uso de pesticidas, herbicidas e outros aditivos agrícolas. Como resultado de tudo isto há importante contaminação por nitratos.

b) Depósitos holocénicos que se podem considerar constituídos por duas unidades aquíferas sobrepostas:

1) uma superficial, formada por areias de dunas e sobreposta a um ou mais níveis de lodos orgânicos. É explorada por poços tradicionais e por pequenos furos cravados (designados por sondas ou filtros), produzindo caudais até 5 l/s. Hidraulicamente funciona como um aquífero livre e é recarregado directamente pela precipitação. Muito vulnerável à contaminação, está altamente poluído na área a Oeste de Estarreja por efluentes industriais e, nas zonas agricultadas, por nitratos de origem agrícola. No contacto com a Ria e o mar é normal ter águas altamente cloretadas.

São escassos os dados de ensaios obtidos, mas os valores da condutividade hidráulica são bastante homogéneos: entre 20 e 49 m/d (valores extremos pouco frequentes). Há uma constância evidente entre 30 e 35 m/dia e que resulta das próprias características das areias. A dispersão dos valores da transmissividade, de resto não muito grande, explica-se pelas diferenças na espessura saturada.

Os valores encontrados para a cedência específica (insuficientes para uma adequada caracterização), são contudo concordantes com os que se encontram na literatura da especialidade para este tipo de aquíferos, ou seja, da ordem dos 10%.

2) a outra unidade, mais profunda, conhecida por Base do Quaternário, e confinada pelos referidos níveis de lodos, é constituída por cascalheiras e areias grosseiras. É explorada intensamente em algumas áreas, principalmente por furos (mas também pelas referidas "sondas" ou "filtros"), produzindo caudais já importantes (de 5 a 30 l/s). Embora quase sempre contenha ferro em teores elevados (casos de Vagos, Avanca, Murtosa, Estarreja), casos há em que a qualidade é excelente, como em Ovar (furos do Furadouro e Cortegaça). Do ponto de vista hidráulico comporta-se como uma unidade semi-confinada a confinada, o que depende, entre outros factores, das características do tecto lodoso.

Foram interpretados vários ensaios e as estatísticas principais, que constam no Quadro 9, foram calculadas a partir de 56 dados da transmissividade.

Quadro 9 - Valores de transmissividade da Base do Quaternário.

Média	D. padrão	Coef. Variação	Q ₁	Mediana	Q ₃	Mínimo	Máximo
432	117	27%	360	428	500	190	750

Os ensaios de bombagem também permitiram obter 28 valores de coeficiente de armazenamento, cujas estatísticas principais se apresentam no quadro 10.

Quadro 10 - Valores do coeficiente de armazenamento da Base do Quaternário.

Média	D. padrão	Coef. Variação	Q ₁	Mediana	Q ₃	Mínimo	Máximo
2×10^{-3}	$2,6 \times 10^{-3}$	136%	$8,8 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-3}$	3×10^{-3}	1×10^{-4}	$9,4 \times 10^{-3}$

2.2.3. Bacia do Lis

Nos sistemas de Alpedriz, Pousos-Caranguejeira e Ourém as camadas captadas são fundamentalmente as dos arenitos cretácicos, embora algumas captações captem exclusivamente as camadas carbonatadas do cretácico sobrejacente aos arenitos ou captem as duas formações conjuntamente. Existe ainda pequeno número de captações implantadas no Terciário, captando quer os depósitos do Eocénico-Oligocénico, quer o Miocénico. Normalmente só as captações que se implantam no complexo detrítico cretácico captam caudais superiores a 10 l/s.

A mediana das transmissividades, estimada a partir de caudais específicos, varia entre cerca de 20 m²/dia, para os Sistemas de Pousos-Caranguejeira e Alpedriz, e 80 m²/dia para o Sistema de Ourém.

A maior parte das captações apresenta artesianismo, situando-se em muitos casos o nível piezométrico acima do terreno, na altura da construção.

As formações que constituem o suporte litológico do Sistema Vieira de Leiria-Marinha Grande são, essencialmente, as areias de duna, os depósitos miocénicos e plio-pleistocénicos indiferenciados, embora também possam ser intersectados os depósitos paleogénicos e os complexos carbonatados e detríticos cretácicos.

As areias de duna afloram em todo o litoral, constituindo uma faixa paralela à costa, cuja largura máxima atinge 7,5 km entre S. Pedro de Muel e Marinha Grande. Os depósitos plio-pleistocénicos são constituídos por areias finas a médias, com intercalações conglomeráticos e níveis argilosos e lenhitosos. A espessura é muito variável oscilando entre 15 e 40 m, perto de S. Pedro de Muel, ultrapassando os 150 m para SE daquela povoação.

O Miocénico está representado por arenitos argilosos, mais ou menos grosseiros, níveis conglomeráticos, argilas, concreções calcárias, etc. No furo SPM-2 foram intersectados 130 m de areias e arenitos, por vezes conglomeráticos e argilas micáceas (Zbyszewski e Assunção, 1965).

A tectónica diapírica exerce um controlo decisivo na distribuição das espessuras das formações de cobertura e na organização espacial do substrato das mesmas. A irregularidade da topografia do substrato é testemunhada pelas variações da espessura dos depósitos post cretácicos: nula (onde aflora o substrato), podendo atingir nalguns pontos mais de uma centena de metros. No litoral, a norte e sul de S. Pedro de Muel e nas margens da Ribeira de S. Pedro, para oeste da Marinha Grande, afloram as camadas liásicas.

Todas as captações de que se dispõe de dados captam camadas confinadas, tendo nalguns casos o nível piezométrico subido, na altura da construção, acima da cota do terreno mesmo para captações pouco profundas. Por exemplo 3 captações da Praia de Vieira, construídas na década de 60, com profundidades entre 19 e 26 m, apresentavam níveis piezométricos repuxantes. A recarga das camadas profundas dá-se fundamentalmente nas áreas mais elevadas situadas a leste e, provavelmente, por drenância entre camadas e ao longo de cursos de água influentes.

Na bacia do Lis assinalam-se dois sistemas cársicos: o de Maceira e do Maciço Calcário Estremenho. O primeiro é de reduzidas dimensões, embora nele se implantem captações com alguma importância.

O Maciço Calcário Estremenho é um sistema muito complexo, apresentando um comportamento típico de aquífero cársico, caracterizado pela existência de um número reduzido de nascentes perenes e várias nascentes temporárias com caudais elevados mas com variações muito acentuadas com o tempo. É constituído por vários subsistemas cuja delimitação coincide aproximadamente com grandes unidades morfoestruturais que dividem o Maciço. Cada um desses subsistemas está relacionado com um nascente cársico perene e, por vezes, com várias nascentes temporárias que descarregam apenas em períodos de ponta.

Também neste maciço cársico está bem demonstrada a dificuldade de garantir caudais razoáveis: há casos de caudais fracos ou nulos e captações perto de áreas de descarga com caudais importantes.

As cinco nascentes principais estão localizadas nos limites do maciço, na zona de contacto com rochas menos permeáveis do Jurássico, Cretácico ou Terciário. Duas delas situam-se no bordo W (Lis e Chiqueada) e as restantes três no bordo S e E (Almonda, Alviela e Alcobertas). A nascente dos Olhos de Água do Alviela é a mais importante de todo o maciço, apresentando descargas máximas de 1 hm³/dia, enquanto na estação seca se registam valores de 30 000 m³/dia. A descarga média anual é de 120 hm³/ano. Para as nascentes do Almonda e do Lis estimam-se valores de descarga entre 80 e 100 hm³/ano e entre 60 e 70 hm³/ano, respectivamente, por comparação com os valores de descarga da nascente do Alviela (Almeida *et al.* 1996). Medições efectuadas pela DRARN Centro nas nascentes do Lis, entre 1984 e 1995, forneceram valores situados entre 51 e 6977 l/s, com média geométrica de 378 l/s.

No Quadro 11 apresentam-se algumas características da distribuição dos valores das produtividades das captações por furo, dos sistemas da Bacia do Lis.

Quadro 11 - Produtividade (Vs) dos Furos dos Sistemas Aquíferos da Orla Ocidental pertencentes à bacia do Lis.

Sistemas Aquíferos	n	Q ₁	Mediana	Q ₃
Alpedriz	34	1,7	2,2	3,7
Ourém	57	1,3	4,5	12,2
Pousos-Caranguejeira	30	2,9	5,1	9,2
Vieira de Leiria-Marinha Grande	32	8,3	15	20
Maceira	valores: 2,2; 14,5 e 17,8 l/s			

3. Conclusões

Os elementos que foi possível reunir permitiram caracterizar de forma global a hidrogeologia e os recursos hídricos subterrâneos das Bacias Hidrográficas do Mondego, Vouga e Lis, do ponto de vista quantitativo.

Para isso, foram referidos os principais sistemas (e subsistemas) definidos em cada bacia e apresentados valores globais dos Recursos Hídricos Subterrâneos renováveis.

Foi ainda possível caracterizar a produtividade das captações construídas e, nalguns casos, indicar as principais estatísticas de parâmetros hidráulicos como a transmissividade e o coeficiente de armazenamento.

Decorrente da caracterização hidrogeológica foram abordados, ainda que ligeiramente, aspectos sobre a vulnerabilidade à poluição das diferentes formações geológicas. Aproveitamos a oportunidade para referir que a principal dificuldade enfrentada na realização do Plano de Bacia, no que concerne aos recursos subterrâneos, foi a obtenção de dados sobre a qualidade da água subterrânea.

Em nossa perspectiva, as diversas entidades envolvidas na gestão dos recursos hídricos em Portugal, terão que promover, entre outras medidas, mecanismos institucionais, ou outros, que possibilitem a elaboração de bases de dados actualizadas que reflectam a realidade das captações existentes e da evolução espacial e temporal dos caudais extraídos, dos níveis e da qualidade da água.

Bibliografia

- [1] ALMEIDA, C., SILVA, M.L., CRISPIM, J.A., 1996 - COST 65 - National Report for Portugal., Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas, Final Report, EUR 16547 EN pp. 211-220.
- [2] INAG (1997) - Definição, caracterização e cartografia dos Sistemas aquíferos de Portugal continental. Instituto da Agua, Divisão de Recursos Subterrâneos, Lisboa.
- [3] MARQUES DA SILVA, M.A. (1990) - Hidrogeologia del sistema multiacuífero del Bajo Vouga - Aveiro (Portugal). Tese de doutoramento. Facultad de Geologia, Universidad de Barcelona.
- [4] PEIXINHO DE CRISTO, F. (1985) - Estudo Hidrogeológico do Sistema Aquífero do Baixo Vouga. Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Divisão de Geohidrologia. Coimbra.
- [5] SERRANO, J. A. P. F. e GARCIA, P. C. S. (1997) - Piezometria da Região Centro. Divisão dos Recursos Hídricos. Direcção Geral do Ambiente do Centro (Ministério do Ambiente). Coimbra.

- [6] ZBYSZEWSKI, G., TORRE DE ASSUNÇÃO, C. (1965) - Carta Geológica de Portugal na Escala de 1:150 000, Folha 22-D, Marinha Grande. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.