

Hidrogeologia em Portugal continental

A. Chambel⁽¹⁾, J. Duque⁽²⁾, A. Matoso⁽³⁾ y M. Orlando⁽⁴⁾

(1) Centro de Geofísica, Universidade de Évora, Dep. Geociências, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal.
E-mail: achambel@uevora.pt

(2) GGT – Gabinete de Planeamento e Gestão do Território, Lda, Zona Industrial, Talhão 33, 7000-171 Évora, Portugal.
E-mail: jduque@sapo.pt

(3) Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo, Estrada das Piscinas, Évora, Portugal.
E-mail: andre.matoso@ccdr-a.gov.pt

(4) INAG, Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Av. Almirante Gago Coutinho, nº 30, 1049-066 Lisboa, Portugal.
E-mail: marco.orlando@inag.pt

RESUMO

Uma análise à hidrogeologia portuguesa, nas suas diversas vertentes, é efectuada, de modo a mostrar quer as características hidrogeológicas do território continental português, quer as condições em que se desenvolve a investigação e o ensino da hidrogeologia em Portugal. São apontadas as grandes diferenças nas características dos aquíferos, suas produtividades e parâmetros hidrogeológicos em vários e diversificados ambientes geológicos, como o Maciço Antigo, as Orlas Meso-Cenozóicas e a Bacia do Tejo-Sado. Por outro lado, o grande desenvolvimento de licenciaturas, mestrados e doutoramentos, que abrangem ensinamentos ligados às águas subterrâneas, o desenvolvimento dos estudos hidrogeológicos e o cumprimento da legislação que tem sido adoptada pelo estado português nas últimas décadas, levaram a um grande incremento nos conhecimentos relativos à hidrogeologia portuguesa e ao desenvolvimento de redes de controlo piezométrico e de qualidade que ainda não se encontram completas em todo o território nacional.

Palavras chave: ensino, Hidrogeologia, investigação, legislação, Portugal, redes de observação, sistemas aquíferos, usos da água

Hydrogeology of continental Portugal

ABSTRACT

An analysis of the Portuguese hydrogeology on its diversity is done, in order to show, by one side, the hydrogeological characteristics of the Portuguese territory, by other side the evolution of the investigation and teaching of the hydrogeology in Portugal. The main differences between the aquifer characteristics, its productivities and hydrogeological parameter values in distinct geologic environments, as the Maciço Antigo, a Palaeozoic Shield, the Orlas Meso-Cenozoic, two Meso-Cenozoic Portuguese borders (west and south), and the Bacia do Tejo-Sado, a two main river sedimentary basin, are appointed. The high development of courses, masters and PhD's in areas linked to groundwater issues, the development of hydrogeologic studies and the big quantity of water legislation adopted in the last decades on Portugal, gives raise to an expansion of the Portuguese hydrogeological knowledge and development of monitoring piezometric and quality nets that are not yet covering all the national territory.

Key words: aquifer systems, education, Hydrogeology, investigation, legislation, observation nets, Portugal, water uses

Introdução

A Hidrogeologia portuguesa de carácter científico inicia o seu desenvolvimento mais pronunciado nos anos 70 do Século XX.

Em finais do Século XIX, e até antes, alguns documentos foram executados, nomeadamente no capítulo das águas com carácter minero-medicinal, muitas vezes efectuados por médicos que conheciam as aplicações práticas na saúde das águas minerais portuguesas, até porque os próprios reis portugueses que também usavam essas mesmas águas.

Estudos mais elaborados, com registo das primeiras análises físico-químicas foram efectuados a partir do final do Século XIX, e há registos já algo completos de análises no início do Século XX para algumas das águas minerais portuguesas.

No entanto, as primeiras escolas já com componente específica de Hidrogeologia formam-se apenas na década de 70, com especialização em várias disciplinas nessa área e com a criação de cursos já com saídas profissionais.

Surgem nessa altura os primeiros artigos científicos e os primeiros doutoramentos em

hidrogeologia em Portugal, a partir de 1984, com teses sobre aquíferos da região do Algarve.

A primeira reunião sobre hidrogeologia foi organizada em Lisboa, em 1978 (I Semana de Hidrogeologia).

A evolução posterior levou à criação da especialidade de hidrogeologia em várias universidades portuguesas, o que permitiu o desenvolvimento e divulgação desta área do conhecimento através da colocação de licenciados já especialistas no mercado de trabalho. Deste modo, várias foram as entidades públicas e privadas que passaram a dispor de técnicos ou dirigentes com conhecimentos e sensibilidade para a causa da hidrogeologia.

O Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P. - INETI (que integrou o ex-Instituto Geológico e Mineiro - IGM), é a instituição que assegura a investigação da infraestrutura hidrogeológica em Portugal e o Instituto da Água (INAG) é o órgão de gestão dos recursos hídricos em Portugal.

Condições físicas, sócio-económicas e institucionais

Condições físicas

O território continental português abrange uma área de cerca de 89.300 km² e tem forma aproximadamente rectangular com valores máximos do comprimento e da largura de cerca de 560 e 220 km, respectivamente (INAG 2005). Situa-se na parte ocidental da Península Ibérica, sensivelmente entre os meridianos 6° W e 10° W e entre os paralelos 37° N e 42° N. É banhado a oeste e sul pelo Oceano Atlântico e confina a norte e este com Espanha.

Climatologia

O clima de Portugal conjuga as influências atlântica e mediterrânica. A primeira faz-se sentir principalmente durante o Inverno e é responsável por precipitações elevadas, principalmente na região noroeste (Minho). A influência mediterrânica faz-se sentir principalmente durante o Verão e nas regiões sul e este, ocasionando temperaturas elevadas e precipitação reduzida (INAG, 2005).

O volume anual médio da precipitação sobre o território continental é de cerca de 89.000x10⁶ m³, equivalente a uma precipitação anual média expressa em altura de água é de cerca de 1000 mm (INAG, 2005).

A distribuição espacial da precipitação sobre o território mostra claramente que a subida das massas de ar húmido provenientes do mar, provocada pelo relevo, origina, em regra, precipitação nas zonas elevadas. A humidade do ar é assim diminuída, pelo que zonas posteriormente atingidas pelas massas de ar recebem menor precipitação, caso das áreas mais a leste do território (Fig. 1). Nessa figura, as regiões que se apresentam mais pluviosas correspondem às áreas mais montanhosas, como a região NW de Portugal, com valores da precipitação anual média superiores a 2.800 mm.

Na zona norte do país, a este, acompanhando a fronteira com Espanha, as precipitações registam 1.200 e 1.400 mm nas terras altas e inferiores a 500 mm nas terras baixas. Na parte central do país, entre os rios Douro e Tejo, situam-se duas zonas de relevo acentuado, a que correspondem núcleos de precipitação elevada, com a serra da Estrela a registar um máximo de precipitação superior a 2.400 mm em ano médio (INAG, 2005).

Na metade sul de Portugal, a sul do Tejo, a precipitação em ano médio varia entre 800 e 1.200 mm nas zonas montanhosas e entre 500 e 800 mm na peneplanície do sul do país, descendo a 400 mm no litoral sul.

A precipitação é variada ao longo do ano, concentrando-se no semestre de Outubro a Março. Os maiores valores da precipitação correspondem, de modo geral, aos meses de Dezembro e Janeiro e os menores aos de Julho e Agosto (INAG 2005). A precipitação em Portugal, além de se distribuir muito irregularmente no território, apresenta também grande variabilidade ao longo do ano e de ano para ano, suportando o país por vezes períodos de alguns anos de seca e inundações devidas a precipitação em regime torrencial.

Geologia

Sendo o território português fundamentalmente constituído por três espaços distintos, o território continental, as ilhas do arquipélago dos Açores e do arquipélago da Madeira, existem especificidades que diferenciam a geologia e a hidrogeologia destes diferentes espaços.

Os arquipélagos dos Açores e da Madeira são constituídos fundamentalmente por rochas de origem vulcânica, constituindo-se, do ponto de vista hidrogeológico, como territórios com especificidades muito marcadas, pelo que não serão objecto de tratamento neste documento, onde apenas se referirão alguns aspectos relativos à legislação portuguesa que abrangem essas regiões autónomas.

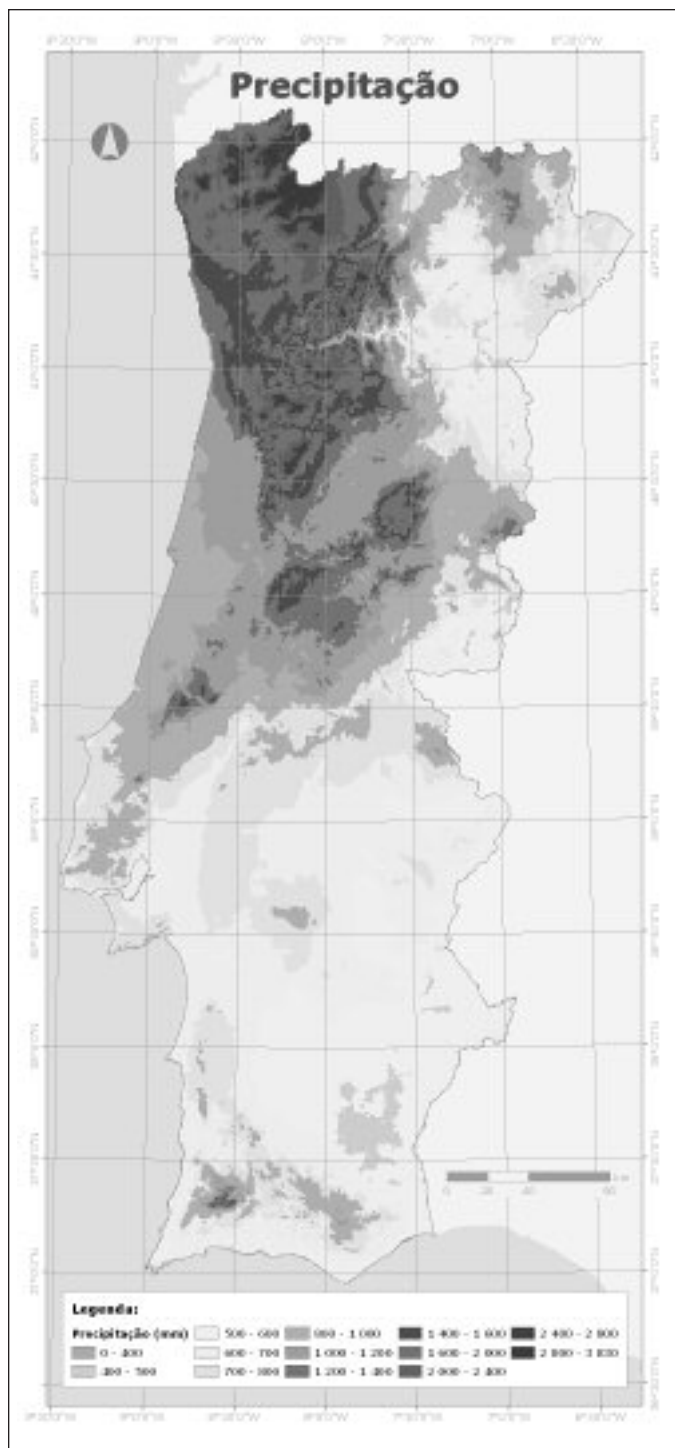


Fig. 1. Distribuição da precipitação em Portugal continental (adaptado de SNIRH-INAG, 2005)

Fig. 1. Distribution of the precipitation in continental Portugal (adapted from SNIRH-INAG, 2005)

O território continental português é formado por três tipos de unidades geológicas: as rochas ígneas e metamórficas correspondentes ao Maciço Antigo ou

Hespérico, as rochas sedimentares das bacias mesozoicas ocidental e meridional e as rochas sedimentares da Bacia do Tejo-Sado.

O designado Maciço Antigo é constituído por terrenos ante-mesozóicos (pré-câmbrios e paleozóicos, em geral metamorfizados e deformados, parcialmente recobertos por formações mais recentes (Teixeira e Gonçalves, 1980). As principais associações litológicas são as rochas: ígneas (granitóides), metamórficas (xistos, grauvaques, etc.), sedimentares (depósitos de cobertura) e metasedimentares (metaconglomerados, etc.).

As orlas mezozoicas ocidental e meridional são fundamentalmente formadas por rochas sedimentares sobretudo, calcários, dolomitos, margas, argilas, arenitos, conglomerados, etc. Em muitos locais estas orlas são intersectadas por intrusões eruptivas e escoadas lávicas.

Os terrenos de cobertura de idade mais recente (terraços, aluviões, praias antigas), constituídos por areias, argilas, cascalheiras, preencheram os antigos vales fluviais, constituindo grandes depósitos, de fácies variadas, que materializaram, por exemplo, as bacias do Tejo e do Sado.

Todo o território português foi mais ou menos afectado pela orogenia hercínica, que dotou as estruturas geológicas com direcção preponderante NW/SE (Teixeira e Gonçalves, 1980). Mais recentemente, a orogenia alpina dotou as rochas de estruturas falhadas com direcção NNE-SSE, algumas delas com muito interesse em termos hidrogeológicos, nomeadamente na área específica das águas minerais.

Hidrografia

Como se observa na figura 2, Portugal apresenta 4 bacias hidrográficas internacionais, partilhadas com Espanha: Minho, Douro, Tejo, Guadiana. Todo o restante território corresponde a bacias exclusivamente portuguesas, das quais se destacam, pela sua dimensão, as bacias dos rios Sado, Mondego e Vouga (Fig. 2). Algumas das áreas mais costeiras correspondem a conjuntos de pequenas bacias hidrográficas que drenam directamente para o oceano, sendo tratadas, em termos institucionais de gestão, como entidades próprias.

Sócio-economia

Portugal tem cerca de 11.400.000 habitantes. Cerca de

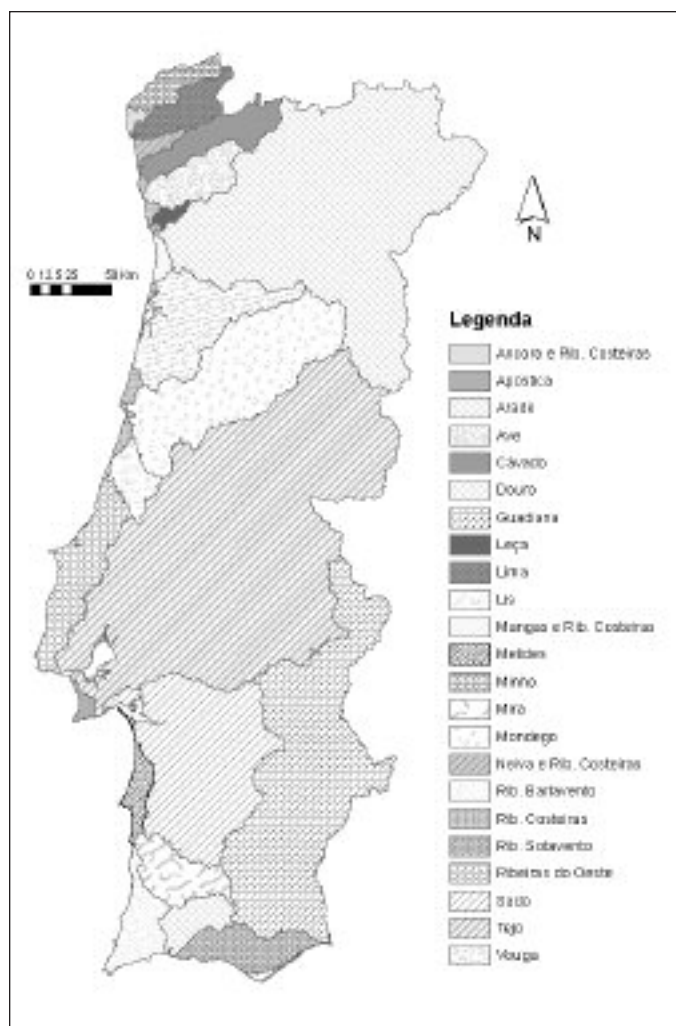


Fig. 2. Bacias hidrográficas portuguesas (adaptado de SNIRH-INAG, 2005)

Fig. 2. Portuguese hydrographic basins (adapted from SNIRH-INAG, 2005)

50% da população concentra-se nos concelhos litorais marcadamente urbanos, designadamente de Lisboa e Porto. A zona interior tem perdido a sua população para o litoral e apresenta níveis de desertificação humana elevados.

O sector terciário ocupa 70% da actividade. Já 27% insere-se no sector secundário, correspondendo os restantes 3% ao sector primário.

Caracterização institucional

Legislação

Grande parte da legislação portuguesa publicada nos últimos anos tem correspondido à actualização de

legislação anterior e ao cumprimento e transposição de legislação emanada da União Europeia.

Apresenta-se em seguida uma lista da principal legislação ligada às águas subterrâneas.

Planeamento de recursos hídricos

- Decreto-Lei nº 45/94 de 1994-02-22 (Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais)

Regula o processo de planeamento de recursos hídricos e a elaboração e aprovação dos Planos de Bacia Hidrográfica (PBH), onde são definidas orientações de valorização, protecção e gestão equilibrada da água, de âmbito territorial, para uma bacia hidrográfica.

Na sequência do processo de planeamento de recursos hídricos, concluído em 2002, foram elaborados 15 Planos de Bacia Hidrográfica (Fig. 2): Bacias Hidrográficas Internacionais - Planos das Bacias Hidrográficas dos rios Douro, Gadiana, Minho e Tejo; Bacias Hidrográficas Nacionais - Planos das Bacias Hidrográficas dos rios Ave, Cávado, Leça, Lima, Lis, Mira, Mondego, Ribeiras do Algarve, Ribeiras do Oeste, Sado e Vouga.

Em todos estes Planos de Bacia Hidrográfica foi efectuado um diagnóstico que incluiu o inventário das disponibilidades de águas subterrâneas, com a sua caracterização quantitativa e qualitativa e o balanço das disponibilidades e necessidades actuais e futuras; foram igualmente elaboradas propostas de medidas e acções de protecção e valorização de águas subterrâneas.

- Decreto-Lei nº 112/2002 de 2002-04-17 (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território)

Aprova o Plano Nacional da Água (elaborado de acordo com o Decreto-Lei nº45/94), onde se definem orientações de âmbito nacional para a gestão integrada dos recursos hídricos, fundamentadas em diagnósticos da situação actual e na definição de objectivos a alcançar através de medidas e acções.

- Decreto Legislativo Regional nº 19/2003/A de 2003-04-23 (Região Autónoma dos Açores - Assembleia Legislativa Regional)

Aprova o Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores, cujo objectivo principal é promover, a nível regional, a valorização, protecção e gestão equilibrada da água, como instrumento fundamental de planeamento ambiental.

Licenciamento da utilização do domínio hídrico

O domínio hídrico é um conjunto de bens (onde se integram as águas subterrâneas) que, pela sua natureza, a lei portuguesa submete a um regime de carácter especial.

- Decreto-Lei nº 46/94 de 1994-02-22 (Ministério do Ambiente)

Estabelece o regime de utilização do domínio hídrico em Portugal. A utilização de águas subterrâneas por qualquer forma subtraídas ao meio hídrico, independentemente da finalidade a que se destinam (consumo humano, rega, actividades industriais, actividades recreativas ou de lazer, etc.), carece de título de utilização do domínio hídrico, a emitir nos termos constantes deste diploma legal, nomeadamente na Secção II - Captação de Águas (Artigos 19º a 24º). Este diploma regula a atribuição de Licenças de Pesquisa e Captação de Águas Subterrâneas e a atribuição de Licenças de Exploração de Águas Subterrâneas.

- Decreto-Lei nº 131/2005 de 2005-08-16 (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional)

Aprova um regime excepcional e transitório de atribuição de licença para a pesquisa e captação de águas subterrâneas e para a instalação de novas captações de águas superficiais destinadas ao abastecimento público, e define os critérios mínimos de verificação da qualidade da água tanto na origem como na distribuição para consumo humano.

- Decreto-Lei nº 133/2005 de 2005-08-16 (Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional)

Aprova o regime de licenciamento da actividade das entidades que operam no sector da pesquisa, captação e montagem de equipamentos de extracção de água subterrânea.

Qualidade da água

- Decreto-Lei nº 236/98 de 1998-08-01 (Ministério do Ambiente)

Diploma que estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos, nomeadamente os requisitos a observar na utilização das águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano.

Protecção de águas subterrâneas

- Decreto-Lei nº 235/97 de 1997-09-03 (Ministério do Ambiente)

Transpõe para a legislação portuguesa a Directiva nº 91/676/CEE do Conselho de 12/12/1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. Define critérios de identificação das águas poluídas e as águas em risco de serem poluídas por nitratos de origem agrícola, nomeadamente as águas subterrâneas (que contenham ou apresentem risco de conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/L).

- Decreto-Lei nº 68/99 de 1999-03-11 (Ministério do Ambiente)

Altera o Decreto-Lei nº 235/97. Tal como no diploma alterado, determina a identificação, por lista, das águas poluídas por nitratos de origem agrícola e das águas susceptíveis de o virem a ser, bem como das áreas que drenam para aquelas águas, designadas por «zonas vulneráveis».

- Decreto-Lei nº 382/99 de 1999-09-22 (Ministério do Ambiente)

Estabelece normas e critérios para a delimitação das zonas que integram os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público de água para consumo humano: Zonas de protecção imediata, Zonas de protecção intermédia, Zonas de protecção alargada e Zonas especiais.

Os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público constituem um instrumento preventivo para assegurar a protecção das águas subterrâneas e correspondem a áreas definidas na vizinhança dessas captações em que se estabelecem restrições de utilidade pública ao uso e transformação do solo, em função das características das formações geológicas que armazenam as águas subterrâneas exploradas pelas captações e em função dos caudais extraídos, como forma de salvaguardar a protecção da qualidade dessas águas subterrâneas.

Os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público pretendem:

- Prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas subterrâneas por infiltração de águas pluviais lixiviantes e de águas excedentes de rega e de lavagens;
- Potenciar os processos naturais de diluição e de autodepuração das águas subterrâneas;

Prevenir, reduzir e controlar as descargas acidentais de poluentes;

- Permitir a criação de sistemas de aviso e alerta, para a protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem em captações de águas subterrâneas, nomeadamente em situações de poluição acidental dessas águas.
- Portaria nº 1100/2004 de 2004-09-03 (Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas e Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente)

Aprova a lista das zonas vulneráveis e as cartas das zonas vulneráveis do território português, tal como determinado pelo Decreto-Lei nº 68/99 de 1999-03-11.

Águas minerais e de nascente

- Decreto-Lei nº 84/90 de 1990-03-16 (Ministério da Indústria e Energia)

Estabelece o regime jurídico de licenciamento da exploração de águas de nascente (que não se integram no domínio público do Estado, podendo ser objecto de propriedade privada), com vista ao seu racional aproveitamento técnico-económico e valorização.

Neste diploma legal, entendem-se por águas de nascente as águas subterrâneas naturais que se não integrem no conceito de recursos hidrominerais definido pelo Decreto-Lei nº 90/90 de 1990-03-16 (Ministério da Indústria e Energia), desde que na origem se conservem próprias para beber.

- Decreto-Lei nº 86/90 de 1990-03-16 (Ministério da Indústria e Energia)

Estabelece o regime jurídico do exercício das actividades de prospecção, pesquisa e exploração de águas minerais naturais (integradas no domínio Público do Estado), com vista ao seu racional aproveitamento técnico-económico e valorização.

Neste diploma legal destacam-se os seguintes conceitos:

- Água mineral natural - Água considerada bacteriologicamente própria, de circulação profunda, com particularidades físico-químicas estáveis na origem, dentro da gama de flutuações naturais, de que resultam propriedades terapêuticas ou simplesmente efeitos favoráveis à saúde;
- Prospecção e pesquisa - Actividades que visam a descoberta e caracterização de águas

minerais naturais, até à revelação da existência de valor económico; este conceito também se aplica às águas minerais naturais que já se encontram qualificadas e em exploração, se visar a execução de actividades que conduzam ao seu melhor aproveitamento (aumento de caudais, por exemplo).

- Exploração - Actividade posterior à prospecção e pesquisa, visando o aproveitamento económico da águas minerais naturais.

Organização institucional

O Domínio Hídrico, nas suas componentes pública e privada, nos termos da lei portuguesa está sob jurisdição de uma entidade pública administrante do domínio hídrico. Concretamente no que se refere às águas subterrâneas, tais entidades são: o Instituto da Água (INAG), que detém jurisdição no domínio hídrico, e as 5 Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) existentes em Portugal (CCDR-Norte, CCDR-Centro, CCDR-Lisboa e Vale do Tejo, CCDR-Alentejo e CCDR-Algarve), a quem estão atribuídas acções de fiscalização e licenciamento dos usos de águas subterrâneas.

O INAG coordena a nível nacional a monitorização de águas subterrâneas, que é desenvolvida pelas CCDR nas respectivas regiões.

No que se refere à investigação da infraestrutura hidrogeológica de Portugal, o INETI (que engloba o ex-Instituto Geológico e Mineiro), através do seu Departamento de Hidrogeologia, desenvolve actividades enquadrada no domínio das geociências, nomeadamente:

- Reconhecer, definir e caracterizar as unidades hidrogeológicas e proceder à avaliação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos subterrâneos;
- Elaborar cartografia hidrogeológica sistemática do País e disponibilizar dados hidrogeológicos em Sistemas de Informação;
- Aplicar e desenvolver novas tecnologias no domínio da aquisição e processamento da informação hidrogeológica;
- Desenvolver o conhecimento hidrogeológico em áreas favoráveis aos aproveitamentos geotérmicos e hidrominerais e no domínio dos riscos geológicos.

Conhecimento hidrogeológico

A cartografia hidrogeológica nacional é efectuada

pelo INETI. Cartografia à escala 1:1.000.000, 1:500.000 e 1:200.000 encontra-se disponível, esta última ainda não totalmente, pois só as folhas correspondentes à zona sul de Portugal estão ainda disponíveis.

As notícias explicativas das cartas geológicas, nomeadamente à escala 1:50.000, apresentam um capítulo descritivo da situação hidrogeológica na área das cartas, tanto mais acurado quanto mais recentes são as mesmas.

As associações científicas e profissionais que em Portugal estão mais ligadas às águas subterrâneas são o Grupo Português da Associação Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GP), constituído pelos membros associados da Associação Internacional de Hidrogeólogos residentes em Portugal, e a Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), a maior associação portuguesa no domínio dos recursos hídricos, e que contempla uma Comissão das Águas Subterrâneas. Ambas as associações são responsáveis por várias iniciativas anuais, nacionais e internacionais, na área das águas subterrâneas.

Existem no país outras associações ligadas aos recursos hídricos, mas não tão directamente relacionadas com as águas subterrâneas, como são exemplo as associações de distribuidores de água ou de sondadores.

Nunca houve em Portugal uma publicação periódica dedicada em exclusivo às águas subterrâneas. A que mais se aproximou era editada pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, designada por Geolis, mas era uma publicação na área mais ampla da geologia aplicada. Também a revista da APRH, Recursos Hídricos, apresenta alguns artigos nesta área, bem como a revista da Associação Portuguesa de Geólogos (APG), Geonovas.

As actividades de investigação e desenvolvimento em hidrogeologia em Portugal são desenvolvidas fundamentalmente pelas instituições portuguesas de ensino superior, pelo INETI e por algumas instituições estrangeiras com projectos em Portugal.

Em relação à formação, são várias as universidades portuguesas que concedem graus de licenciatura em cursos que envolvem pelo menos uma disciplina mais ligada à hidrogeologia, cursos de mestrado ou doutoramentos nessa área (dados retirados dos sites oficiais das Universidades):

- Universidade de Aveiro: Curso de Engenharia Geológica, com disciplinas obrigatórias de Hidrogeologia e de Sondagens e com disciplinas opcionais em Modelação de Recursos Hídricos Subterrâneos e Poluição da Água; Doutoramento em Geociências.

- Universidade de Coimbra: Curso de Engenharia Geológica e de Minas e curso de Geologia, com disciplinas de Hidrogeologia, Prospecção Geofísica, Hidrogeologia Operacional e, apenas para o primeiro, também Prospecção Geofísica Complementar; A disciplina de Recursos Hídricos é leccionada nos Mestrados em Ambiente e Ordenamento do Território e em Ensino de Ciências Naturais - Ciências da Terra; Doutoramento em Engenharia Geológica, especialidade em Hidrogeologia e Recursos Hídricos.
- Universidade de Évora: Engenharia dos Recursos Hídricos, o curso com mais elevada componente específica de águas subterrâneas em Portugal, com as disciplinas de Hidrogeologia I, Geofísica Aplicada, Hidrogeologia II, Monitorização dos Recursos Hídricos; Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos, Modelação de Aquíferos e, como opcionais, as disciplinas de Hidrogeologia das rochas Cristalinas e Cristalofílicas e de Recursos Hidrominerais, Hidroenergéticos e Geotérmicos; Curso de Engenharia Geológica, com as disciplinas de Hidrogeologia e Geofísica Aplicada; Mestrado em Conservação de Águas Interiores, com as disciplinas Estrutura e Funcionamento de Ecossistemas Aquáticos e de Gestão e Recuperação de Ecossistemas Aquáticos, ambas com componente importante dedicada às águas subterrâneas, e com disciplinas opcionais de Transporte e Modelação de Contaminantes em Aquíferos; Doutoramento em Engenharia Geológica e em Geologia.
- Universidade de Lisboa: Curso de Geologia Aplicada e do Ambiente, com disciplinas de Hidrogeologia, Prospecção e Captação de Águas e Exploração e Gestão de Recursos Hídricos Subterrâneos; Mestrado em Geologia - Geologia Económica e Aplicada; Doutoramento em Geologia.
- Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: A disciplina de Recursos Hídricos é leccionada no curso de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais.
- Universidade do Algarve: Licenciatura em Engenharia do Ambiente, com disciplinas de Hidrologia; Controlo da Poluição e Gestão de Recursos Hídricos e licenciatura em Biologia e Geologia, com a disciplina de Hidrologia, todas com componente importante relacionada com as águas subterrâneas.
- Universidade do Minho: Licenciatura em Ensino de Biologia e Geologia, com a disciplina de Recursos Hídricos, e licenciatura em Geologia,

ramo Recursos e Planeamento, com as disciplinas de Hidrogeologia I e Hidrogeologia II; Doutoramento em Geologia.

- Universidade do Porto: Curso de Geologia, com a disciplina de Hidrogeologia como opção; Doutoramento em Geologia.
- Universidade dos Açores: Licenciatura em Engenharia Geológica, com a disciplina de Hidrogeologia e, como opcionais, as disciplinas de Sistemas e Modelos Aquíferos e de Gestão e Exploração de Águas Subterrâneas; Mestrado em Geologia de Engenharia, com a disciplina de Hidrogeologia.
- Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa: O curso de Engenharia Geológica e Mineira apresenta como opção a disciplina de Geohidrologia; O mestrado em Georrecursos apresenta as disciplinas de Introdução à Hidrogeologia Quantitativa, Modelização Hidrogeológica, Análise de Traçadores em Hidrogeologia, Hidrogeologia Estocástica, Modelos de Poluição em Águas Subterrâneas e Recursos Hidrominerais e Geotérmicos.

Não há portanto licenciaturas exclusivas em águas subterrâneas em Portugal, correspondendo geralmente os novos hidrogeólogos a alunos que fazem o seu trabalho final de curso em Hidrogeologia, na sequência de uma das licenciaturas indicadas. No entanto, alguns mestrados apresentam já uma estrutura dirigida especificamente a este importante sector da geologia.

Hidrogeologia de Portugal

Portugal é constituído basicamente por quatro unidades hidrogeológicas (figura 3). A mais extensa corresponde ao Maciço Antigo, rochas ígneas e metamórficas afectadas pela Orogenia Hercínica, a que se sobrepõem as Orlas Mezo-Cenozóicas Ocidental e Meridional e a Bacia do Tejo-Sado, constituídas por rochas sedimentares cársicas e porosas.

As unidades mais produtivas são claramente as Orlas Ocidental e Meridional e a Bacia do Tejo-Sado, enquanto o Maciço Antigo é considerado a unidade de menor produtividade. No entanto, qualquer destas unidades apresenta sistemas aquíferos que se destacam pela sua produtividade relativa dentro das litologias que as compõem.

A carta dos sistemas aquíferos de Portugal continental (Fig. 4) mostra os aquíferos identificados

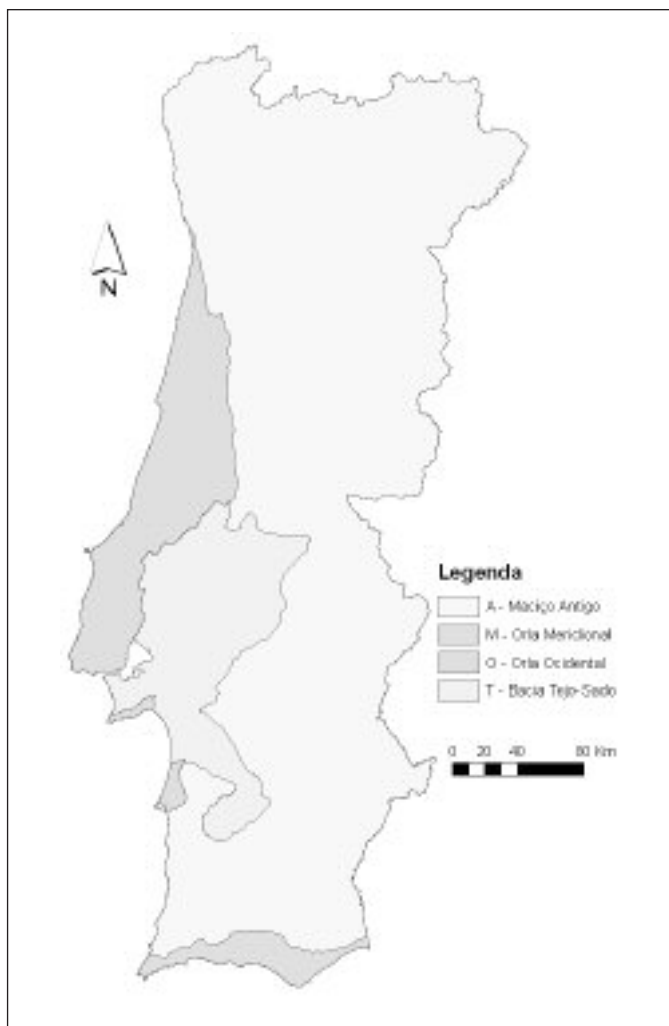


Fig. 3. Grandes unidades hidrogeológicas em Portugal continental (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2000)

Fig. 3. Main hydrogeological unities in continental Portugal (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2000)

pelo INAG no seu site oficial, tomando com o base um trabalho de Almeida et al. (2000).

Maciço Antigo

No Maciço Antigo há um predomínio de rochas ígneas e metamórficas com interesse hidrogeológico relativo. Trata-se de aquíferos muito dependentes da fracturação e da espessura de alteração. No Maciço Antigo são identificados (Fig. 5), pela sua importância, os aquíferos em calcários metamórficos, na metade sul do país, e uma crista quartzítica (Luso), no centro norte, claramente os aquíferos mais produtivos nesta unidade. É igualmente assinalado o aquífero dos Gabros de Beja, bem como uma

pequena unidade sedimentar no norte do país, a Veiga de Chaves, formada por sedimentos acumulados numa zona abatida entre falhas. As

características descritivas breves de todos estes sistemas aquíferos encontram-se na Tabela 1, a qual faz uma sùmula dos conhecimentos actuais

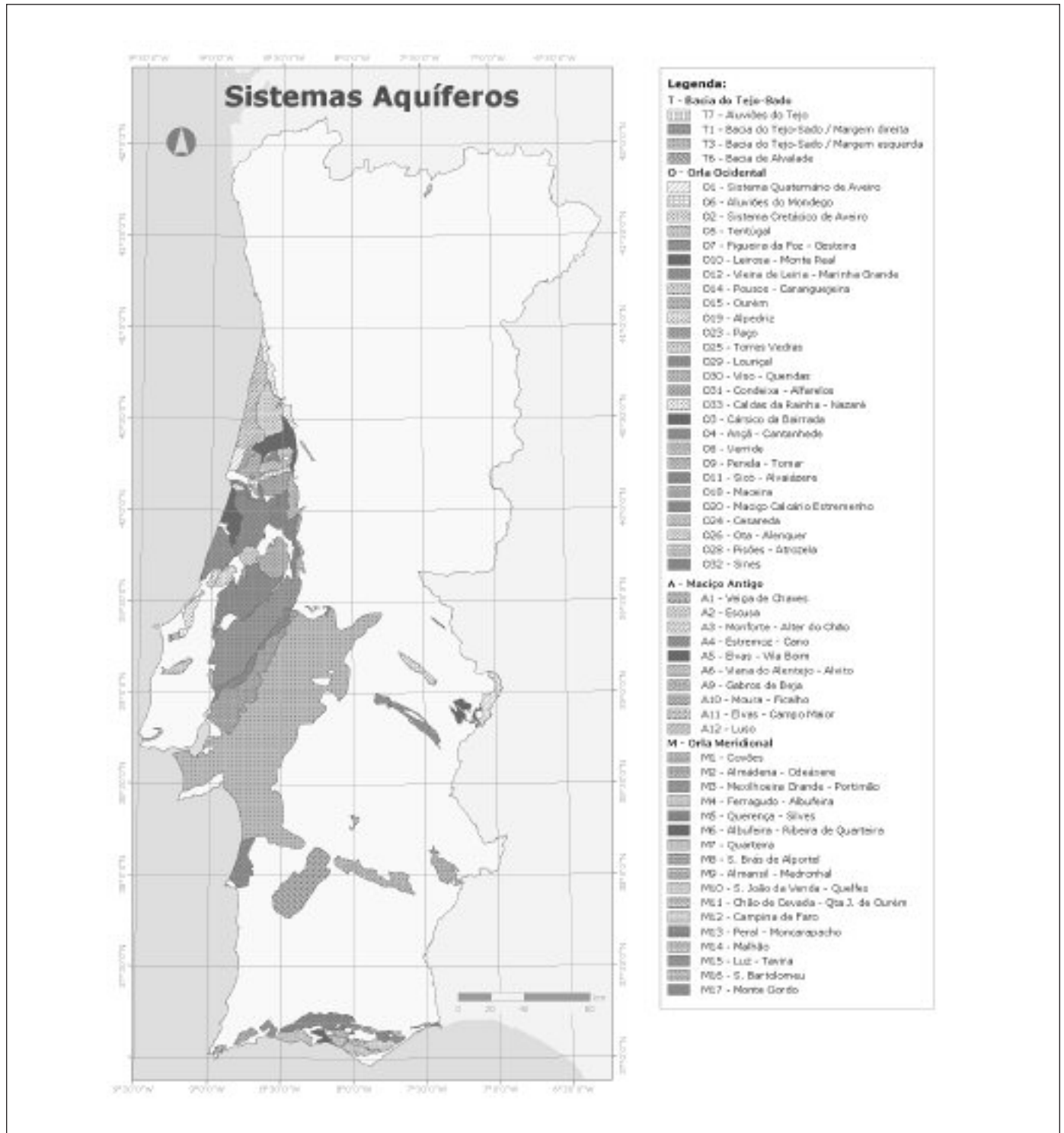


Fig. 4. Sistemas aquíferos em Portugal continental (Almeida *et al.*, 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005)
 Fig. 4. Aquifer systems in continental Portugal (Almeida *et al.*, 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005)

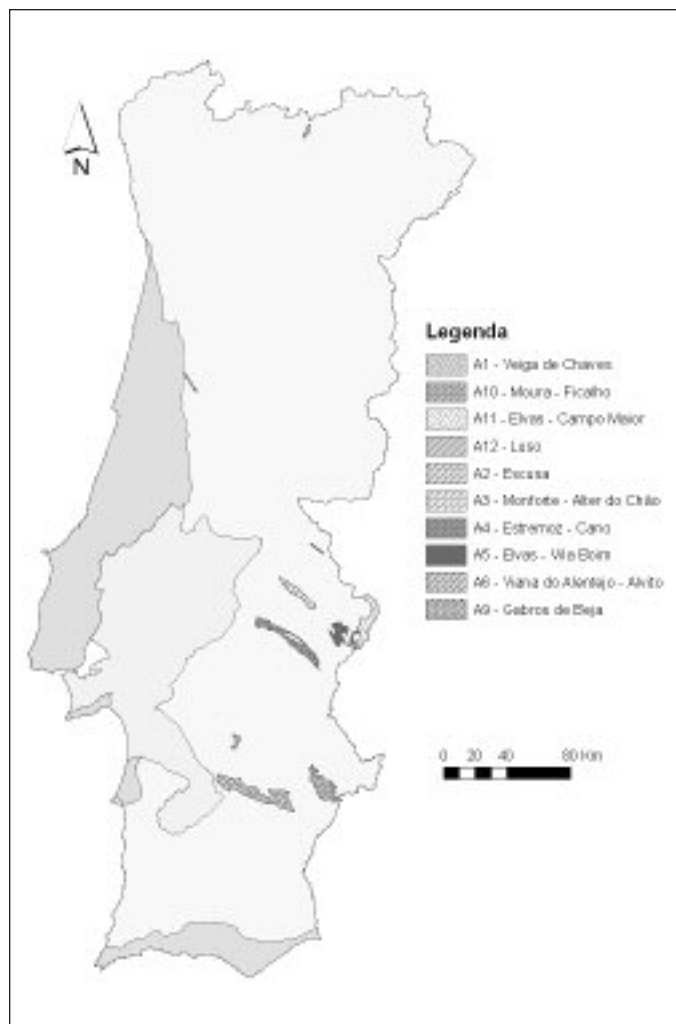


Fig. 5. Sistemas aquíferos definidos no Maciço Antigo (Almeida *et al.*, 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005)

Fig. 5. Aquífer systems on the Maciço Antigo (Almeida *et al.*, 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005)

sobre os sistemas aquíferos presentemente identificados no Maciço Antigo (Almeida *et al.*, 2000; SNIRH-INAG, 2005).

No entanto, para além dos maciços calcários, quartzitos e gabros paleozóicos, também os gnaisses e migmatitos antepaleozóicos, bem como algumas rochas vulcânicas ácidas e básicas metamorfizadas e muitas outras litologias apresentam um potencial hidrogeológico superior aos das restantes rochas ígneas e metamórficas. Estas últimas foram identificadas em estudos mais recentes (ERHSA, 2001, Chambel *et al.*, 2002, Fig. 6). Também as características dos sistemas aquíferos identificados no âmbito deste Projecto estão indicadas na Tabela 1. Os depósitos de terraços e cascalheiras, para além do caso já

identificado de Chaves, também apresentam algum interesse, embora muito relativo.

Os sistemas carbonatados apresentam como litologias predominantes calcários, calcários dolomíticos e dolomitos. São sistemas cársicos, alguns deles com características mistas de cársico e fissurado (Escusa, Monforte-Alter do Chão, Estremoz-Cano, Elvas-Vila Boim, Viana do Alentejo-Alvão, Portel e Moura-Ficalho). De um modo geral são sistemas complexos, livres a confinados. Apresentam produtividades com a mediana na ordem dos 1,5 a 10 L/s e a transmissividade pode aproximar-se dos 4.000 m²/dia.

A fácies hidroquímica é, como seria de esperar, bicarbonatada cálcica, com tendência magnesiana.

Em relação às rochas não carbonatadas, apresentam a mediana das produtividades entre 1 e 3,5 L/s, obtidas em ensaios com ar comprimido directo, tipo *air-lift*, não se tratando portanto de caudais de exploração. Os valores de transmissividade atingem um máximo próximo dos 200 m²/dia (Tabela 1).

A fácies hidroquímica é diversificada, mas apresenta tendência bicarbonatada cálcica ou bicarbonatada mista.

Todas as restantes áreas do Maciço Antigo correspondem a zonas que, actualmente, são consideradas de baixa produtividade, considerando-se a média de exploração por captação de 1 L/s como representativa desses sectores pouco produtivos.

Orla Meso-Cenozóica Ocidental

Na Orla Ocidental identificam-se 28 aquíferos, numa grande variedade de formações geológicas: unidades detríticas terciárias a quaternárias; arenitos e calcários cretácicos e calcários do Jurássico (Fig. 7). A grande diversidade hidrogeológica é reflectida na elevada heterogeneidade dos sistemas aquíferos, com grandes variações nos parâmetros hidrogeológicos.

Na tabela 2 (Almeida *et al.*, 2000; SNIRH-INAG, 2005) observam-se as características de cada um dos sistemas aquíferos, constatando-se que as medianas das produtividades oscilam entre os 0,8 e os 22 L/s e que as transmissividades extremas podem atingir os 15.000 m²/dia. As medianas dos valores da transmissividades para os diversos sistemas aquíferos situam-se entre os 20 e os 1.500 m²/dia.

Quer em relação à produtividade, quer em relação

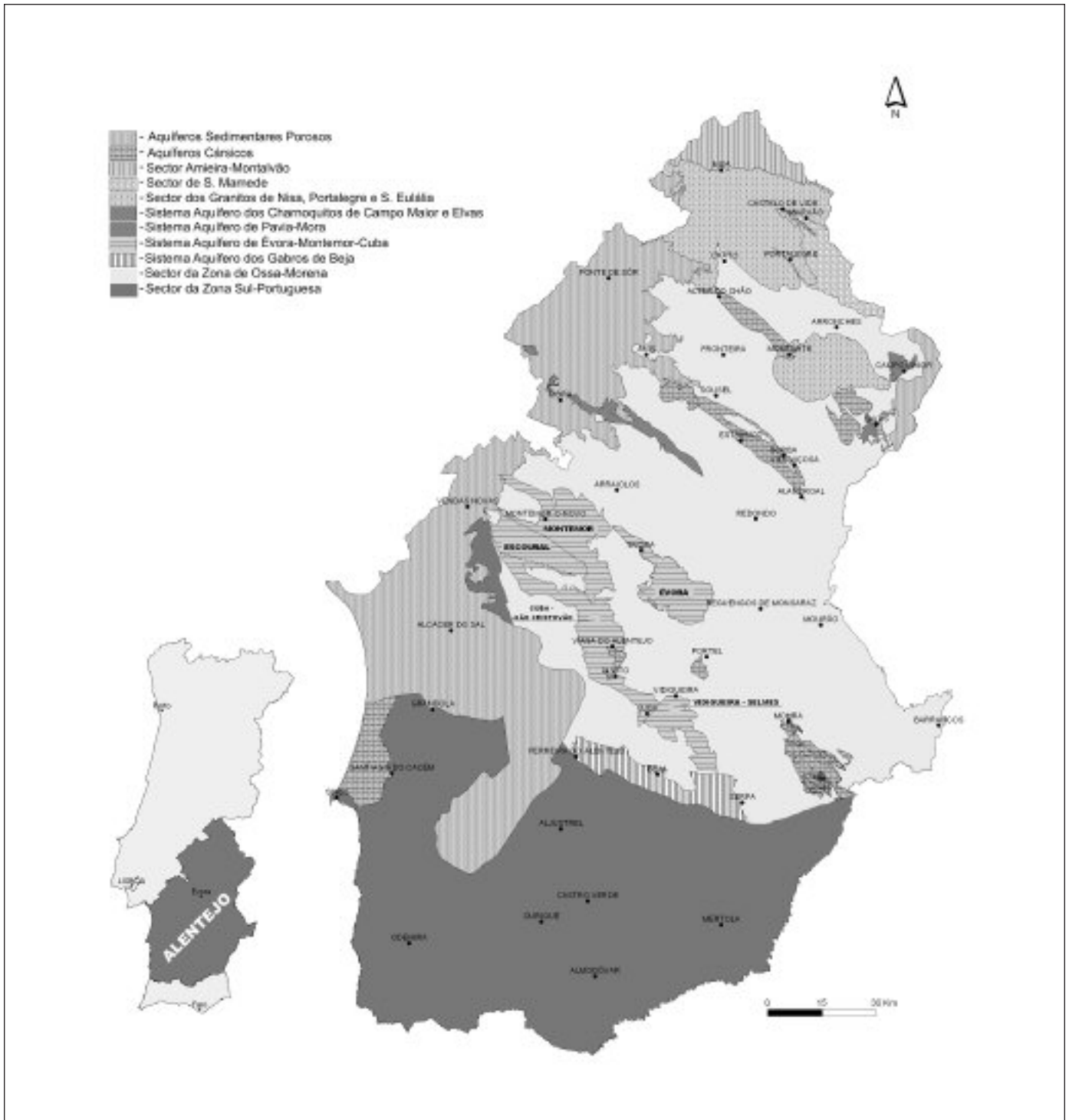


Fig. 6. Aquíferos do Alentejo (adaptado de ERHSA, 2001)
Fig. 6. Aquifers of Alentejo (adapted from ERHSA, 2001)

aos parâmetros hidrodinâmicos, observa-se que não há diferenças significativas entre os aquíferos em rochas arenosas e cársicas.

Em relação à hidroquímica destes sistemas

aquíferos, há uma acentuada predominância das fácies bicarbonatada cálcica e cloretada sódica, como seria de esperar de formações carbonatadas e porosas de origem marinha.

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hídrico	Fácies Hidroquímicas
A1 – Veiga de Chaves	16	Cascalheiras, areias e argilas	Multicamada, poroso, livre a confinado na parte superior e confinado na parte inferior	Mn = 1,5	Mn T = 42 m ² /dia S (+f) = 5,7*10 ⁻⁵ a 8,3*10 ⁻³	E c = 2,43 hm ³ /ano Sd c = 1,7 hm ³ /ano	Cl-Bic-Sod e Sod-Ca
A2 – Escusa	7,7	Calcários dolomíticos e dolomitos	Cársico, porosidade dupla	Mn = 9,6	T (+f) = 123 a 474 m ² /dia	E c = 3,5 hm ³ /ano Sd c = 2,7 hm ³ /ano	Bic-Ca e/ou Mg
A3 – Monforte-Alter do Chão	98	Calcários, dolomitos cristalinos e gabros	Cársico/fissurado nos calcários, fracturado nos gabros, livre	Calcários: Mn = 3,3; Gabros: Md = 7,1	-	E c = 5,7 hm ³ /ano Sd c = 0,2 hm ³ /ano	Bic-Ca e Ca-Mg
A4 – Estremoz-Cano	202	Dolomitos, Calcários dolomíticos, Calcários cristalinos, Tufo calcários (Cano)	Cársico, livre, a semiconfinado; Poroso, livre (na zona do Cano)	Mn = 2,5	-	E c = 34 hm ³ /ano	Bic-Ca e Mg
A5 – Elvas-Vila Boim	113	Calcários cristalinos, dolomitos, calcários dolomíticos, corneanas	Sistema complexo, cárstico e fissurado, porosidade dupla, livre a semiconfinado	Mn = 1,7	T = 7 a 171 m ² /dia S = 1,4*10 ⁻²	E c = 16,9 hm ³ /ano	Bic-Ca-Mg
A6 – Viana do Alentejo-Alvito	18,4	Calcários, dolomitos e rochas calcossilicatadas	Cársico e fissurado, livre a confinado	15,6 a 30,3	T = 2.400 a 3.960 m ² /dia S fracturas = 10 ⁻² a 10 ⁻¹ S blocos = 10 ⁻⁴ a 10 ⁻³	E = 1,7 hm ³ /ano Sd c = 0,57 hm ³ /ano	Bic-Ca e Bic-Mg
A9 – Gabros de Beja*	387	Gabros, anortositos, serpentinitos, metavulcanitos básicos	Fissurado e poroso, livre	Mn = 1,5 Md = 3,3	Mn T = 41 m ² /dia Md T = 69 m ² /dia	E = 18,8 hm ³ /ano Sd c = 18,8 hm ³ /ano	Bic-Ca-Mg ou Bic-Ca
A10 – Moura-Ficalho	185,8	Dolomitos, mármore calcíticos e calcários dolomíticos	Cársico a fissurado, livre a confinado	Mn = 8,3	T = <40 a 3.532 m ² /dia S = 5*10 ⁻² a 0,21	E = 64,5 hm ³ /ano	Bic-Ca e/ou Mg
A11 – Elvas-Campo Maior	176	Rochas margosas, arenitos margosos, argilas	Multicamada, poroso	Mn = 4,03	T = 8 a 93 m ² /dia	E = 9 a 15 hm ³ /ano	Bic-Ca e Mg

Tabela 1. Principais características dos Sistemas Aquíferos do Maço Antigo (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005). Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); fácies hidroquímicas (Cl – Clorureta; Bic – Bicarbonata; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Média; Md – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas; * – Dados de Duque (2005); ** – Dados do ERHSA (2001); *** – Dados de Ghira (2002) e Ferreira (2005); os valores de produtividade do ERHSA (2001), de Duque (2005), de Ghira (2002) e de Ferreira (2005) são de caudais directos e não de exploração

Table 1. Main characteristics of the Maço Antigo (Ancient Massif) Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient); Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Mean; Md – Median; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known; * – Data from Duque (2005); ** – Data from ERHSA (2001); *** – Data from Ghira (2002) and Ferreira (2005); the productivity values of ERHSA (2001), from Duque (2005) and Ferreira (2005) are based on direct flow and not on exploration flow rates

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hidrico	Fácies Hidroquímicas
A12 – Luso	15,3	Quartzitos	Fissurado	Fonte de S. João Md 1996/97 = 39	-	E = >1,5 hm ³ /ano	Cl-Sod
Portel**	17,9	Micaxistos, rochas verdes, quartzitos, calcários e dolomitos, rochas quartzo-feldspáticas, xistos, metagrauwaques	Cársico a fissurado	-	-	E = 0,8 hm ³ /ano	Bic-Ca-Mg-Sod
Charnouquitos de Campo Maior**	48	Charnouquitos, rochas	Fissurado, livre ultrabásicas	Mn = 1,67 Md = 3,03	-	E = 2,8 hm ³ /ano	Bic-Ca-Mg
Pavia-Mora**	267	Gnaisses graníticos, granitos gnaissicos	Fissurado, livre	Mn = 1,38 Md = 3,20	-	E = 16,7 hm ³ /ano	Cl-Bic-mista, Mg ou Sod
Évora-Montemor-Cuba** Dividido em 5 sectores:	1.360						
• Sector de Evora**	255	Gnaisses, migmatitos, granodioritos, quartzodioritos	Fissurado, livre	Mn = 3,33 Md = 5,54	T = 37 a 193 m ³ /dia (5 ensaios de caudal)	E = 16,6 hm ³ /ano	Bic-mistas, Cl-mistas
• Sector de Montemor**	373	Migmatitos, gnaisses migmatíticos, granitos tonalitos, corneanas, gabros, dioritos	Fissurado, livre	Mn = 0,99 Md = 3,20	-	E = 26,5 hm ³ /ano	Bic-mistas, Cl-mistas
• Sector do Escoural**	198	Complexo xisto-gresoso, metavulcanitos, quartzitos, ortognaisses, migmatitos, calcaxistos, mármore	Fissurado, livre	Mn = 1,39 Md = 3,70	-	E = 14,7 hm ³ /ano	Bic-Ca-Mg ou mista, Cl
• Sector Cuba-S. Cristóvão**	369	Gabrodioritos, gabros, granófiros, ortognaisses graníticos, metapelitos, psamitos, metavulcanitos, quartzitos, metabasitos, granitos, migmatitos	Fissurado, livre	Mn = 1,11*** Md = 2,75***	-	E = 24 hm ³ /ano	Bic-Sod, Bic-Mg, Bic-Ca ou mista
• Sector Vidigueira-Seimes**	165	Metavulcanitos básicos, granodioritos, dioritos, corneanas	Fissurado, livre	Mn = 2,74 Md = 4,71	T = 40 m ³ /dia (apenas 1 ensaio de caudal)	E = 9,2 hm ³ /ano	Bic-mista ou Cl-mista

Tabela 1 (continuação). Principais características dos Sistemas Aquíferos do Maciço Antigo (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005). Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); fácies hidroquímicas (Cl – Cloretada; Bic – Bicarbonatada; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Mediana; Md – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas; * – Dados de Duque (2005); ** – Dados do ERHSA (2001); *** – Dados de Ghira (2002) e Ferreira (2005); os valores de produtividade do ERHSA (2001), de Duque (2005), de Ghira (2002) e de Ferreira (2005) são de caudais directos e não de exploração

Table 1 (continuation). Main characteristics of the Maciço Antigo (Ancient Massif) Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient); Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Median; Md – Mean; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known; * – Data from Duque (2005); ** – Data from ERHSA (2001); *** – Data from Ghira (2002) and Ferreira (2005); the productivity values of ERHSA (2001), from Duque (2005), Ghira (2002) and Ferreira (2005) are based on direct flow and not on exploration flow rates

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hídrico	Fácies Hidroquímicas
O1 – Quaternário de Aveiro	931	Terraços: conglomerados, areias, argilas; Base do Quaternário: areões, areias, lodos; Dunas: areias; Aluviões: areias e argilas	3 unidades: freático nos depósitos pliocénicos, confinado ou semiconfinado na base do Quaternário, freático nas dunas e aluviões	Base do Quaternário: Mn = 14,5	Base do Quaternário: Mn T = 428 m ² /dia Mn S = 1,7*10 ³ Dunas: T = 50 a 370 m ² /dia	E = 200 a 250 hm ³ /ano Sd = 180 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod e mistas
O2 – Cretácico de Aveiro	894	Arenitos, calcários, margas, calcarenitos, arenitos micáceos, grés	3 aquíferos em arenitos, calcários e arenitos micáceos	Mn = 15	Mn T = 340 m ² /dia Mn S = 1*10 ⁴	E = 11 hm ³ /ano Sd = 8 a 10 hm ³ /ano	Bic-Mg e Sod, Sulf-Sod
O3 – Cárstico da Bairrada	316	Calcários, calcários margosos, margas	Cárstico, heterogéneo	Mn = 3,2	T = 16 a 600 m ² /dia S = 14 hm ³ /ano	E = 10 a 15 hm ³ /ano	Bic-Ca
O4 – Ançã-Cantanhede	40	Calcários	Cárstico	Mn = 1,3	T = 5 a 358 m ² /dia	E = 10 a 12 hm ³ /ano Sd (Nascentes) = 11,6 hm ³ /ano	Bic-Ca
O5 – Tentúgal	162	Arenitos mais ou menos argilosos, calcários, margas, quartzarenitos	Multicamada, essencialmente poroso, livre a confinado	Mn = 0,8	T = 1 a 400 m ² /dia	E = 26 hm ³ /ano Sd = 26 hm ³ /ano	Bic-Ca
O6 – Aluviões do Mondego	148	Areias com intercalações de argilas, lodos	Multicamada, poroso, livre a confinado/semiconfinado	Mn = 21,8	Mn T = 1.475 m ² /dia	E = 45 a 50 hm ³ /ano	Mista, Bic-Ca ou Sod, Cl-Sod
O7 – Figueira da Foz-Gesteira	64	Arenitos, calcários e margas	Multicamada, essencialmente poroso, livre a confinado	Mn = 12,5 (apenas sector a norte do Rio Mondego)	Mn T = 108,4 m ² /dia	E = 9,5 hm ³ /ano Sd = 9,5 hm ³ /ano	Cl-Sod, Bic-Sod
O8 – Verride	15	Calcários e margas	Cárstico	Caudal de uma nascente: 1,6 a 9	-	E = 5 hm ³ /ano Sd = 5 hm ³ /ano	Bic-Ca
O9 – Penela-Tomar	245	Dolomitos, calcários, margas	Cárstico	Mn = 1,7 (fora das zonas das exsurgências)	T = 1 a 850 m ² /dia	E = 26 hm ³ /ano	Bic-Ca, Sulf-Ca e mistas
A10 – Leirosa-Monte Real	218	Areias com algumas argilas	Multicamada, poroso	Mn = 10	Orla costeira: Mn T = 371 m ² /dia Diapiro de Monte Real: Mn T = 741 m ² /dia	E = 76,7 hm ³ /ano Sd = 76,7 hm ³ /ano	Orla costeira: Bic Diapiro Monte Real: Cl-Sod
O11 – Sicó-Alvaiázere	332	Calcários, margas, calcários dolomíticos	Cárstico, muito heterogéneo	Mn = 4	T = 4 a 570 m ² /dia	E = 135 hm ³ /ano Sd = 120 hm ³ /ano	Bic-Ca
O12 – Vieira de Leiria-Marinha Grande	320	Areias, conglomerados, argilas, arenitos argilosos	Multicamada, poroso	Mn = 15	Mn T = 80 m ² /dia	E = 90 hm ³ /ano Sd c = 1,5 hm ³ /ano (abastecim. público)	Cl-Sod, Bic-Ca
O14 – Pousos-Caranguejeira	102	Arenitos argilosos, conglomerados, argilas, margas, calcários	Multicamada, poroso	Mn = 5,1	Mn T = 18 m ² /dia	E = 3 hm ³ /ano Sd c = 1 hm ³ /ano (abastecim. público)	Cl-Sod

Tabela 2. Principais características dos Sistemas Aquíferos da Orla Mezo-Cenozóica Ocidental (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005). Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); Facies Hidroquímicas (Cl – Cloretada; Bic – Bicarbonatada; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Mediana; Md – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas

Table 2. Main characteristics of the Orla Mezo-Cenozoic Border Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient; Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Median; Md – Mean; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known

Como se verifica na mesma figura 7, também na Orla Ocidental surgem áreas pouco produtivas, geralmente associadas a formações argilosas ou vulcânicas.

Orla Meso-Cenozóica Meridional

A Orla Meridional é constituída por 17 sistemas aquíferos (Fig. 8), fundamentalmente de carácter cársico, embora sujam alguns sistemas mistos, cársicos e porosos, e apenas dois sistemas exclusivamente porosos (Tabela 3).

As formações associadas são fundamentalmente carbonatadas (calcários, calcários dolomíticos dolomiticos) e detríticas (arenitos, conglomerados, areias, cascalheiras) ou mistas (biocalcarenitos).

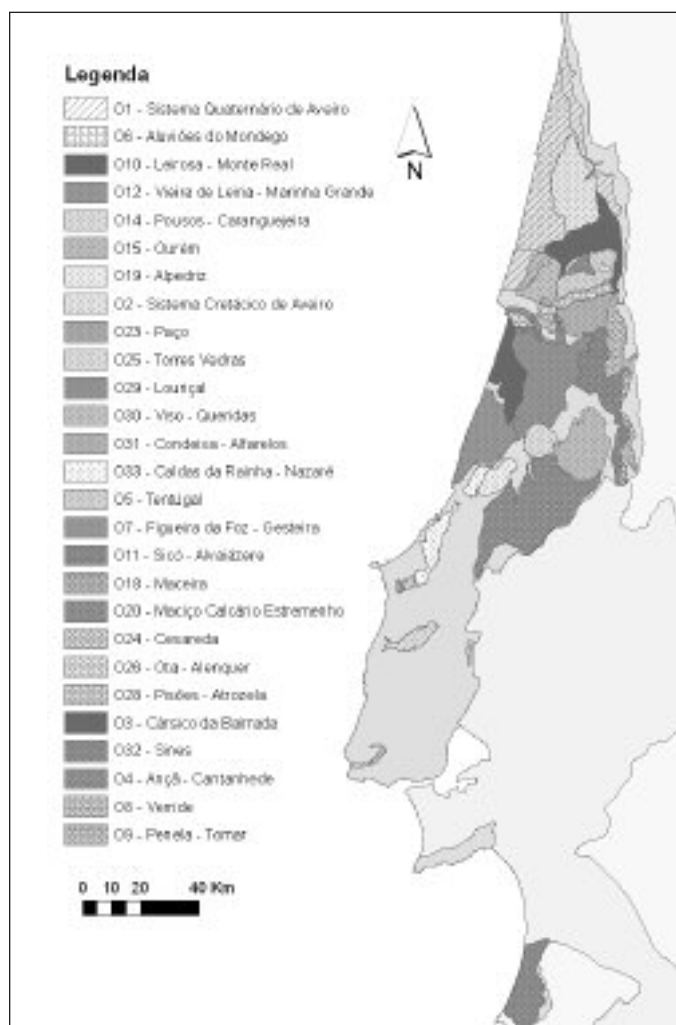


Fig. 7. Sistemas aquíferos definidos na Orla Meso-Cenozóica Ocidental (Almeida *et al.*, 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005)
 Fig. 7. Aquifer systems of the Orla Meso-Cenozóica Ocidental (Almeida *et al.*, 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005)

Trata-se de aquíferos, na sua generalidade, com áreas mais reduzidas em relação aos da Orla Ocidental, também porque a Orla Meridional é mais estreita e de superfície muito inferior à Ocidental.

Em relação às produtividades destes aquíferos, as medianas situam-se entre os 2,8 e os 15,5 L/s e as transmissividades podem atingir os 30.000 m²/dia, encontrando-se as suas medianas entre os 5 e os 1.000 m²/dia (Tabela 3). Os valores dos coeficientes de armazenamento situam-se numa ordem de grandeza entre os 10⁻² e os 10⁻⁴, nos poucos sistemas que apresentam resultados (Almeida *et al.*, 2000; SNIRH-INAG, 2005).

Em relação à composição hidroquímica, trata-se de águas com fácies fundamentalmente bicarbonatadas cálcicas, mas surgem também fácies cloretadas sódicas e, mais raramente, cloretadas cálcicas (Tabela 3).

Como se verifica na figura 8, na Orla Meridional, tal como na Ocidental, surgem também áreas pouco produtivas, associadas a formações mais impermeáveis.

Bacia do Tejo-Sado

A Bacia do Tejo-Sado é constituída fundamentalmente por formações detríticas terciárias e quaternárias, surgindo no entanto igualmente algumas formações carbonatadas. Trata-se da mais importante unidade hidrogeológica portuguesa e nela podem diferenciar-se 4 sistemas aquíferos (Fig. 9 e Tabela 4). As litologias que aí ocorrem correspondem a arenitos, areias, conglomerados e cascalheiras e alguns calcários e margas.

As produtividades nas captações desta área são muito elevadas, com medianas a situarem-se entre os 5 e os 35 L/s (Tabela 4). Os valores medianos de transmissividade situam-se entre os 100 e os 1.500 m²/dia, com os valores de coeficiente de armazenamento dentro da gama dos 10⁻³ (Almeida *et al.*, 2000; SNIRH-INAG, 2005)

Em relação à composição química da água, há uma predominância de fácies bicarbonatadas cálcicas, mas também surgem fácies cloretadas sódicas e algumas outras composições menos frequentes.

Problemáticas e redes de controlo das águas subterrâneas

Algumas das questões que se colocam às águas

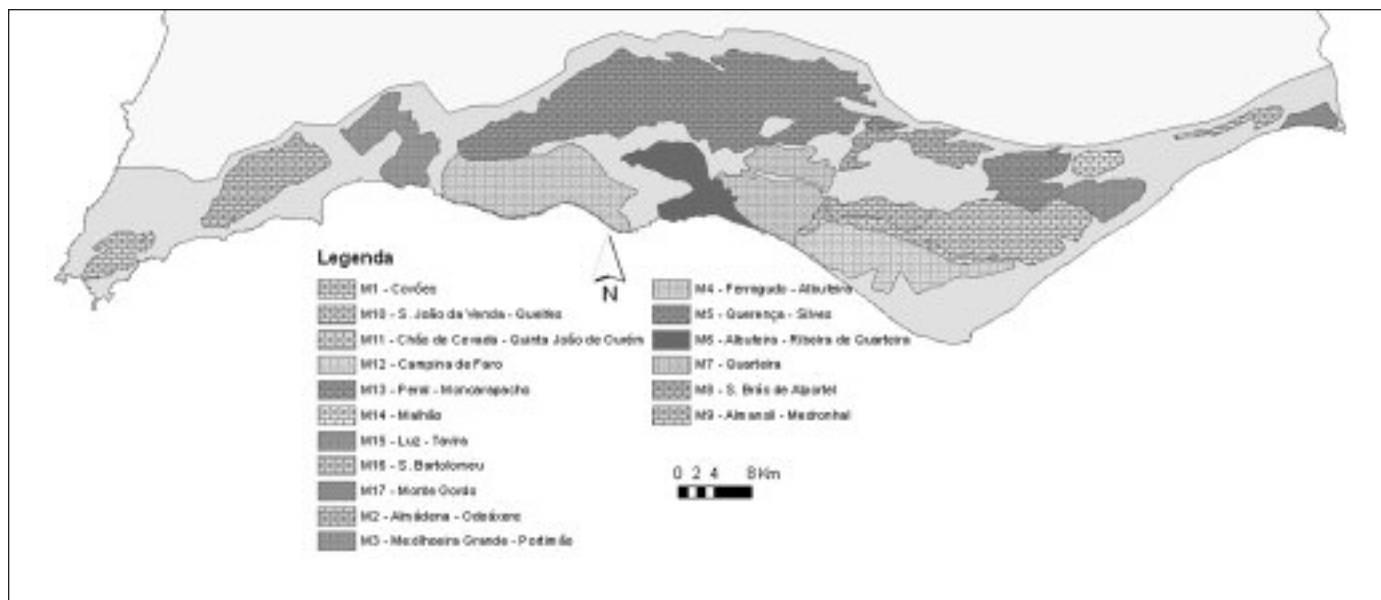


Fig. 8. Sistemas aquíferos definidos na Orla Meso-Cenozóica Meridional (Almeida et al., 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005)
 Fig. 8. Aquifer systems of the Orla Meso-Cenozóica Meridional (Almeida et al., 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005)

subterrâneas, como a contaminação de aquíferos ou a sua sobreexploração, são passíveis de serem verificadas localmente, mas podem também ser objecto de uma vigilância apertada.

O INAG dispõe já de uma rede de observação piezométrica e de qualidade que lhe permite acompanhar a situação das águas subterrâneas em parte dos aquíferos do país, mas ainda se notam algumas assimetrias nesse controlo nacional, que está a ser colmatado. Nas figuras 10 e 11 mostra-se a distribuição dessas redes, onde se pode observar que as mesmas estão mais desenvolvidas nas áreas mais a sul e dentro dos aquíferos mais importantes.

A contaminação de aquíferos, principalmente a de carácter difuso, pela agricultura ou agro-pecuária é já observada desde há vários anos em vários sistemas aquíferos, principalmente naqueles que apresentam uma cobertura de solos férteis a muito férteis para a agricultura. Trata-se de um problema muito generalizado nessas áreas.

Em relação à intrusão salina, é um fenómeno que tem sido detectado nalguns aquíferos costeiros portugueses, nomeadamente no Algarve, no sul do país, no aquífero da Península de Tróia (Condeça, 2004) e que poderá estar a suceder no Aquífero Cretácico de Aveiro (O2 na Tabela 2), em todos eles por efeito de sobreexploração. Está-se a tornar-se num fenómeno com tendência a generalizar-se nas zonas costeiras, muito por efeito da pressão turística a que as orlas marítimas estão sujeitas, ou por efeitos

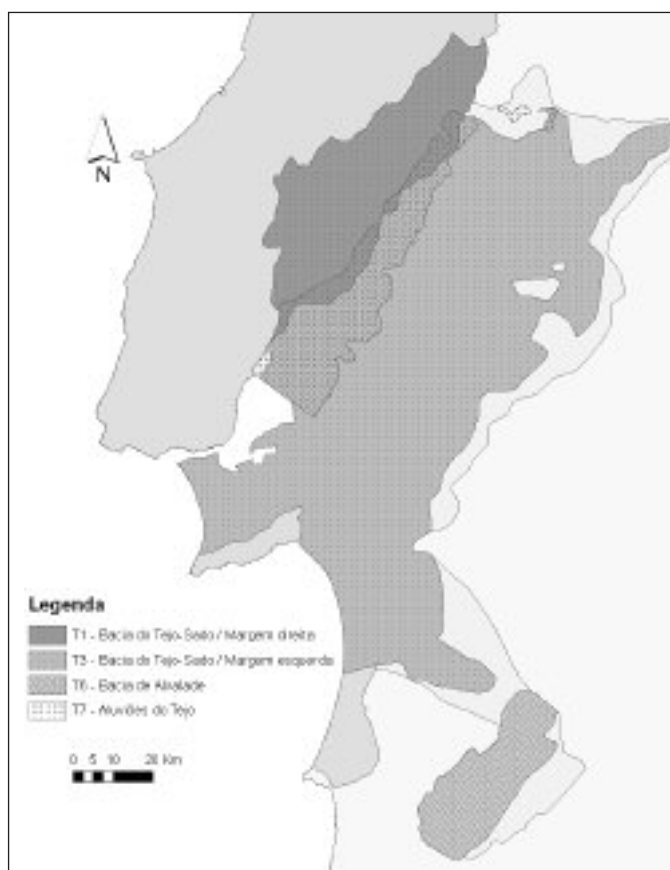


Fig. 9. Sistemas aquíferos definidos na Bacia do Tejo-Sado (Almeida et al., 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005)
 Fig. 9. Aquifer systems of the Bacia do Tejo-Sado (Almeida et al., 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005)

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hídrico	Fácies Hidroquímicas
M1 – Covões	22,6	Dolomitos, calcários dolomíticos, calcários	Cársico, livre a confinado	Mn = 15,5	T = 500 a 600 m ² /dia	E = 6 hm ³ /ano Sd c = 2 hm ³ /ano	Cl-Sod
M2 – Almádena-Odeáxere	63,5	Dolomitos, calcários dolomíticos, calcários	Cársico, livre a confinado	Mn = 5,6	Mn T = 884 m ² /dia	E = 16 a 24 hm ³ /ano Sd c = 7 hm ³ /ano	Bic-Ca
M3 – Mexilhoeira Grande-Portimão	52	Dolomitos, calcários dolomíticos, biocalcarentos, calcários, areias, arenitos, cascalheiras, conglomerados	Multiaquífero, poroso e cársico	Mn = 8,3	Mn T = 430 m ² /dia	E = 10 hm ³ /ano Sd c = 4 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod e mistas
M4 – Ferragudo-Albufeira	117	Arenitos, calcários, margas, dolomitos, biocalcarentos, arenitos, conglomerados, areias, cascalheiras	Multiaquífero, cársico e poroso freático	Mn = 5	Cretácico: T = 200 a 600 m ² /dia Miocénico: T = 30 a 750 m ² /dia	E = 8 hm ³ /ano Sd c = 8 hm ³ /ano	Cl-Sod, Bic-Ca e mistas
M5 – Querença-Silves	318	Brecha dolomítica, dolomitos, calcários dolomíticos, calcários, margas	Cársico, livre a confinado	Mn = 11,1	T = 83 a 30.000 m ² /dia S = 5*10 ⁻² a 3*10 ⁻²	E = 70±17 hm ³ /ano Sd c = 45 hm ³ /ano	Bic-Ca
M6 – Albufeira-Ribeira de Quarteira	54,6	Calcários, calcários dolomíticos, dolomitos, biocalcarentos, arenitos	Dos aquíferos principais: Formação carbonatada Lagos-Portimão e calcários e dolomitos do Jurássico superior	Mn = 9,4	Mn T = 235 m ² /dia	E = 8,7 hm ³ /ano Sd c = 8 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod
M7 – Quarteira	81	Dolomitos, calcários dolomíticos, calcários, biocalcarentos, areias	Multiaquífero complexo, com aquíferos simples ou multicamada, cársicos, porosos ou mistos, livres e confinados	Mn = 9	Mn T = 750 m ² /dia	E = 12 hm ³ /ano Sd c = 11 hm ³ /ano	Cl-Ca-Sod
M8 – São Brás de Alportel	34,4	Calcários, brechas, dolomitos, calcários dolomíticos	Cársico, livre a confinado	Mn = 4,2	-	E = 5 a 6 hm ³ /ano Sd c = 2 hm ³ /ano	Bic-Ca

Tabela 3. Principais características dos Sistemas Aquíferos da Orla Mezo-Cenozoica Meridional (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005). Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); fácies hidroquímicas (Cl – Cloretada; Bic – Bicarbonatada; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Média; Md – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas

Table 3. Main characteristics of the Orla Mezo-Cenozoica Meridional (South Mesozoic Border) Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient); Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Mean; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hídrico	Fácies Hidroquímicas
M9 – Almansi-Medronhal	23,4	Dolomitos, calcários dolomíticos, calcários, margas	Cársico, livre a confinado	Mn = 7	T = 4.000 m ² /dia S = 0,04	E = 6 a 7 hm ³ /ano Sd c = 6 hm ³ /ano	Bic-Ca
M10 – São João da Venda-Queifes	113	Conglomerados, arenitos, argilas, margas, calcários margosos	Multicamada	Arenitos e argilas: Mn = 7 Seq. margo-calcária: Mn = 5,5	-	E = 9 hm ³ /ano Sd c = 3,5 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod e intermédias
M11 – Chão de Cevada Quinta João de Ourém	5,3	Dolomitos, calcários	Cársico, livre a confinado	Mn = 6	T = 500 a 600 m ² /dia	E = 2 hm ³ /ano Sd c = 2 hm ³ /ano	Bic-Ca e mista
M12 – Campina de Faro	86,4	Biocalcarenitos, siltes, areias, arenitos, cascalheiras, conglomerados	Um aquífero livre, um aquífero confinado multicamada	Mn = 6	Miocénico: T = 397 m ² /dia S = 1,3*10 ⁻⁴	E c = 10 hm ³ /ano Sd c = 13 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod e mistas
M13 – Peral-Moncarapacho	44	Calcários, brechas, margas	Cársico, livre a confinado	Mn = 2,8	-	E = 10 hm ³ /ano Sd c = 2 hm ³ /ano	Bic-Ca
M14 – Malhão	12	Dolomitos, calcários	Cársico, pouca capacidade de armazenamento e poder regulador	Mn = 14,7	-	E = 3 hm ³ /ano Sd c = 2,1 hm ³ /ano	Bic-Ca
M15 – Luz-Távira	28	Calcários, brechas, margas, conglomerados, biocalcarenitos, siltes, areias, argilas	Multiaquífero, um aquífero cársico, livre a confinado e, sobreposto, um aquífero poroso, livre a confinado	Mn = 5,6	Mn T = 5,6 m ² /dia	E = 4 hm ³ /ano Sd c = 3,8 hm ³ /ano	Bic-Ca
M16 – São Bartolomeu	10,6	Dolomitos, calcários dolomíticos	Cársico, confinado ou semiconfinado a livre	Mn = 8,2	T = 3.700 m ² /dia S = 8*10 ⁻³	E = 3 hm ³ /ano Sd c = 1,5 hm ³ /ano	Cl-Ca-Mg
M17 – Monte Gordo	9,6	Areias, com componente argilosa	Poroso, livre	1,5 a 13	T = 336 a 916 m ² /dia K = 28 a 76,3 m/dia	E = 3 hm ³ /ano	Cl-Ca

Tabela 3 (continuação). Principais características dos Sistemas Aquíferos da Orla Mezo-Cenozóica Meridional (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005).
 Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); fácies Hidroquímicas (Cl – Cloretada; Bic – Bicarbonatada; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Médiana; Md – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas
 Table 3 (continuation). Main characteristics of the Orla Mezo-Cenozoic Meridional (South Mezo-Cenozoic Border) Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient); Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Median; Md – Median; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Litologias dominantes	Características gerais	Produtividade (L/s)	Parâmetros Hidráulicos	Balanco Hidrico	Fácies Hidroquímicas
T1 – Bacia do Tejo-Sado / Margem direita	1.629	Arenitos da Ota; Argilas; Calcários de calhaus; Calcários de Almoster; Calcários margosos, margas	Aquífero carbonatado superior e aquífero detrítico inferior, ambos predominantemente confinados ou semiconfinados	Calcários de Almoster: Mn = 6; Arenitos da Ota: Mn = 11,1	Calcários de Almoster: T (+f) = 10 a 130 m ² /dia; Arenitos da Ota: T (+f) = 20 a 160 m ² /dia	E = 150 a 200 hm ³ /ano Sd c = 92 hm ³ /ano	Calcários de Almoster: Bic-Ca Arenitos da Ota: Cl-Ca-Mg e Bic-Ca-Mg
T3 – Bacia do Tejo-Sado / Margem esquerda	6.875	Pliocénico: Areias, argilas; Arenitos da Ota; Argilas; Série calco-gresosa marinha; Arenitos calcários, margas	Multiaquífero, livre, confinado ou semiconfinado	Pliocénico: Mn = 15,5; Arenitos da Ota: Mn = 9,7; Formações greso-calciárias: Mn = 35 S = 10 ³	Pliocénico: T = 100 a 3.000 m ² /dia; Arenitos da Ota: T (+f) = 45 a 179 m ² /dia; Série calco-gresosa-marinha: T (+f) = 127 a 693 m ² /dia,	-	Pliocénico: Cl-Sod e Ca, Bic-Ca-Mg Arenitos da Ota: Bic-Sod e Ca Série calco-gresosa marinha: Bic-Ca-Mg
T6 – Bacia de Alvalade	702	Conglomerados, argilas, margas, calcários gresosos, arenitos argilosos, cascalheiras	Multiaquífero, complexo, aquíferos multicamada, livres, confinados ou semiconfinados	Mn = 4,9	-	E c = 40 hm ³ /ano	Cl+Bic-Sod e mista
T7 – Aluviões do Tejo	1.113	Aluviões: Areias, argilas, seixos e calhaus; Terraços fluviais: Seixos e calhaus, areias e argilas	Poroso, livre a confinado ou semiconfinado	Aluviões: Mn = 12; Terraços fluviais: Mn = 10	Aluviões: Mn T = 1.493 m ² /dia Mn K = 122 m ² /dia Terraços: Mn T = 1.573 m ² /dia Mn K = 127 m ² /dia Md S = 8,39*10 ³	E = 214 hm ³ /ano Sd = 207 hm ³ /ano	Bic-Ca, Cl-Sod, mistas

Tabla 4. Principais características dos Sistemas Aquíferos da Bacia do Tejo-Sado (Almeida et al. 2000; adaptado de SNIRH-INAG, 2005). Legenda: Parâmetros Hidráulicos (T – Transmissividade; K – Coeficiente de Permeabilidade; S – Coeficiente de Armazenamento); Facies Hidroquímicas (Cl – Clorretada; Bic – Bicarbonatada; Sulf – Sulfatada; Sod – Sódica; Ca – Cálcica; Mg – Magnésiana); Mn – Média; +f – mais frequente; E – Entradas; Sd – Saídas; c – conhecidas
 Table 4. Main characteristics of the Bacia do Tejo-Sado (Tejo-Sado Basin) Aquifer Systems (Almeida et al. 2000; adapted from SNIRH-INAG, 2005). Legend: Hydraulic parameters (T – Transmissivity; K – Permeability Coefficient; S – Storage Coefficient); Hydrochemistry (Cl – Chloride; Bic – Bicarbonate; Sulf – Sulphate; Sod – Sodium; Ca – Calcium; Mg – Magnesium); Mn – Median; Md – Mean; +f – more frequent; E – Recharge; Sd – Outputs; c – known

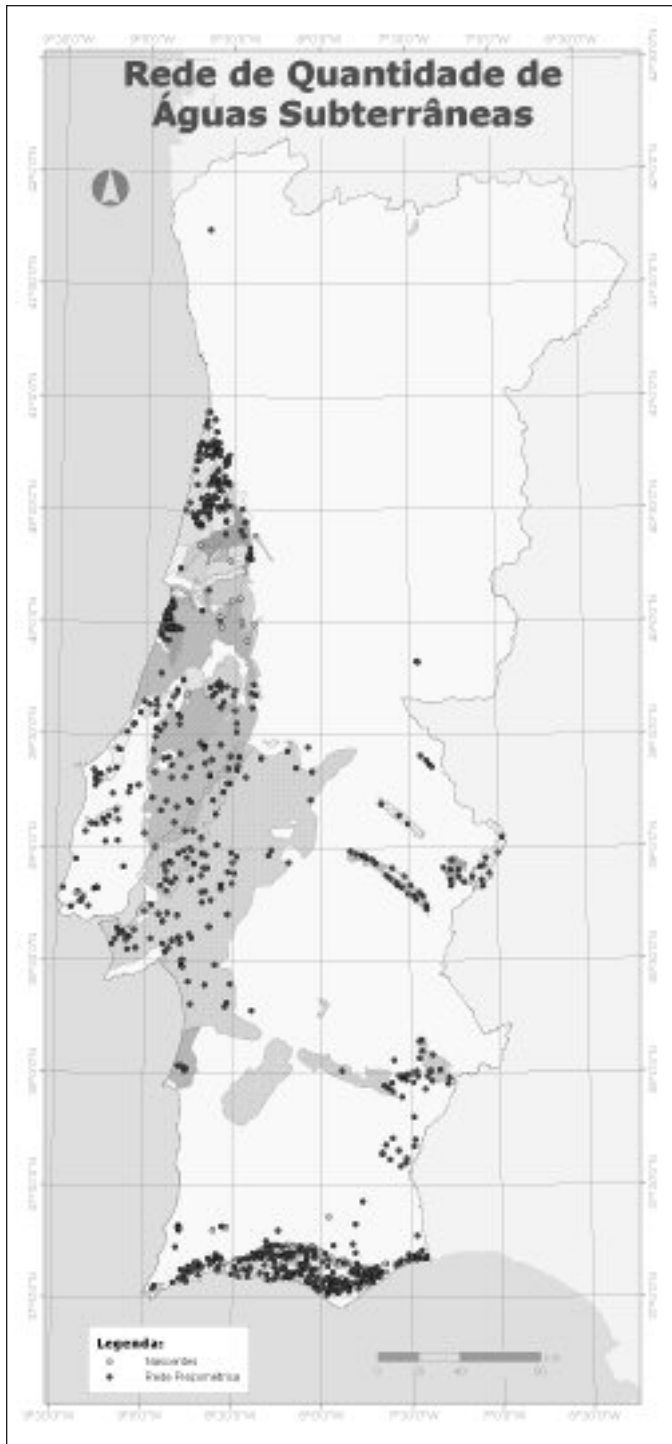


Fig. 10. Rede de observação piezométrica (adaptado de SNIRH-INAG, 2005)

Fig. 10. Piezometric observation net (adapted from SNIRH-INAG, 2005)

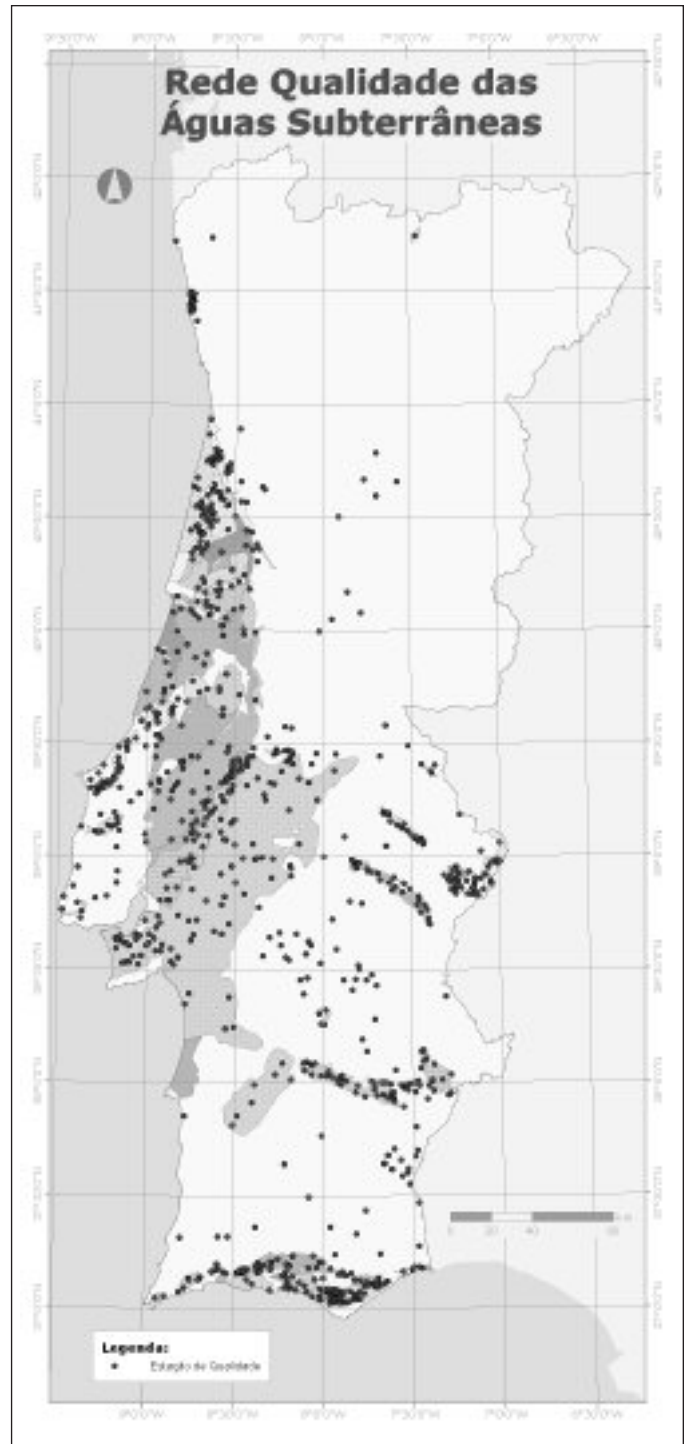


Fig. 11. Rede de observação de qualidade (adaptado de SNIRH-INAG, 2005)

Fig. 11. Quality observation net (adapted from SNIRH-INAG, 2005)

de exploração de água para a agricultura, para o qual se têm de encontrar soluções a curto prazo, a fim de inverter ou impedir o processo.

Usos da água

Cerca de 45% das águas consumidas em Portugal

para abastecimento público são de origem subterrânea, os restantes 55% são de origem superficial (Ribeiro, 2004). Contudo, no designado Maciço Antigo, a percentagem de uso de água subterrâneas ultrapassa largamente os 50% para esse mesmo uso. Quanto aos usos para a indústria, a origem superficial domina com cerca de 55%, num total de 206 hm³, enquanto que as origens subterrâneas contemplam um valor próximo de 179 hm³.

A agricultura é a maior consumidora de água em Portugal com cerca de 75% do total de água consumida 65% dessa água provém de origens subterrâneas. Relativamente a esta última origem, os consumos são da ordem dos 4.215 hm³, enquanto que para as origens superficiais ronda os 2.340 hm³.

Relativamente ao uso conjunto águas superficiais/subterrâneas, em Portugal não existem operacionalmente sistemas funcionais. Este método de gestão, tão amplamente divulgado, não mereceu ainda uma efectiva concretização, embora existam modelos desenvolvidos para estimular a sua aplicação futura.

Singularidades hidrogeológicas e sobreexploração

As águas minerais portuguesas com temperatura elevada ocorrem associadas a fracturas de grande extensão, que atingem profundidades elevadas na crosta. Trata-se de fracturas com direcção NNE-SSW, ocorrentes na metade norte do país, e que dão origem a várias captações de águas gaso-carbónicas, que permitiram a instalação de indústrias de engarrafamento de água e a balneários termais, pela singularidade química das águas associadas a essas estruturas.

Em trabalhos hidrogeológicos recentes (ERHSA, 2001), abrangendo o Alentejo, na parte sul do território português, concluiu-se que não existiam situações de sobreexploração nessa área. Porém, o mesmo não se passa noutras zonas do país, como o Algarve, no limite sul, onde a pressão habitacional e turística sobre a zona costeira se faz sentir com intensidade, crescendo à grande apetência agrícola de algumas zonas, que utilizam também as águas subterrâneas. Também a zona de Aveiro se encontra sujeita a exploração intensa para fins agrícolas (Aquífero Cretácico de Aveiro).

Conclusões

A hidrogeologia portuguesa evoluiu muito nas

últimas décadas. A partir dos anos 70 do Século XX dá-se um incremento elevado no número de cientistas que dedicam a sua investigação à hidrogeologia. Uma análise à hidrogeologia portuguesa, nas suas diversas vertentes, mostra que os estudos se desenvolvem hoje um pouco por todo o território continental.

A análise das condições hidrogeológicas do país mostra que os aquíferos mais produtivos se encontram associados a rochas de porosidade intergranular ou rochas cársticas, estas últimas com características mais heterogéneas que as primeiras. A Bacia do Tejo-Sado apresenta os aquíferos mais extensos e produtivos do país, mas alguns aquíferos das Orlas Meso-Cenozóicas Ocidental e Meridional apresentam igualmente boas captações. O Maciço Antigo apresenta alguns sistemas aquíferos com importância regional, mas a sua distribuição espacial é esparsa.

O grande desenvolvimento de licenciaturas, mestrados e doutoramentos ligados à área das águas subterrâneas e a adopção de legislação nacional resultante muitas vezes da transposição de legislação comunitária, obriga também a realizar estudos e implementar redes de controlo de quantidade e quantidade, que estão em desenvolvimento.

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. & Nascimento, J. 2002. Hidrogeologia das Rochas Cristalinas do Alentejo: Nova Cartografia Proposta com Base nos Resultados do Projecto ERHSA. *6º Congresso da Água - A Água é d'Ouro*, Porto, CD-88.
- Condeça, J. 2004. *Modelação da Intrusão Salina no Sector Tróia-Melides*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre, Universidade Lisboa, Lisboa, 250 p.
- Duque, J. 2005. *Hidrogeologia do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 419 p.
- ERHSA 2001. *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo*. Comissão de Coordenação da Região Alentejo, Évora.
- Ferreira, M. 2005. *Definição Hidrogeológica da Metade Este do Sector Cuba-S. Cristóvão do Sistema Aquífero Évora-Montemor-Cuba*. Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora, 76 p.
- Ghira, L. 2002. *Definição Hidrogeológica da Metade Oeste do Sector Cuba-S. Cristóvão do Sistema Aquífero Évora-Montemor-Cuba*. Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora, 82 p.

- INAG 2005. Água em Portugal, Instituto da Água, <http://www.inag.pt/>
- Ribeiro, L. 2004. Águas Subterrâneas em Portugal Continental. Em: *Manual de Engenharia Águas Subterrâneas*, GRUNDFOS, Lisboa, 5-18.
- SNIRH-INAG 2005. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - Instituto da Água, <http://snirh.inag.pt/>
- Teixeira, C. & Gonçalves, F. 1980. *Introdução à Geologia de Portugal*. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa, 475 p.

Recibido: noviembre 2005.

Aceptado: diciembre 2005.