

Caracterização multidisciplinar dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas e montanhosas (Norte e Centro de Portugal): metodologias e técnicas

Caracterización multidisciplinar de los recursos hídricos subterráneos en áreas urbanas y de montaña (Norte y Centro de Portugal): metodologías y técnicas

M.J. Afonso^{1,8}, J. Espinha Marques², J.M. Marques³, P. M. Carreira⁴; P.E. Fonseca⁵, A. Gomes⁶, J. Martins Carvalho¹, J. Samper⁷, F. Sodr e Borges², F.T. Rocha⁸ & H.I. Chamin e^{1,8}

¹Dep. de Engenharia Geotécnica e LABCARGA – Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Rua do Dr. Ant nio Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, Portugal, mja@isep.ipp.pt

²Dep. de Geologia (CGUP), Universidade do Porto, Portugal, jespinha@fc.up.pt

³Dep. de Engenharia de Minas e Georrecursos (LAMPIST), Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal

⁴Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), Sacavém, Portugal

⁵Dep. de Geologia (LATTEX), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal

⁶Dep de Geografia, Universidade do Porto, Portugal

⁷E.T.S. de Ingenieros de Cami os, Canales y Puertos, A Coru a, Espanha

⁸Centro de Minerais Industriais e Argilas (MIA) e Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Portugal

RESUMO

O presente trabalho ilustra a aplica o duma abordagem multidisciplinar ao estudo de recursos hídricos subterr neos em duas áreas do Maciço Ibérico Português onde predominam as rochas cristalinas: a área metropolitana do Porto (Norte de Portugal) e um sector da região montanhosa da Serra da Estrela (Centro de Portugal). Tal abordagem está na base da obten o dum tipo de conhecimento mais compatível com a gestão sustentável dos recursos hídricos subterr neos. A investiga o em curso inclui diversas técnicas, onde se destacam: (i) a elabora o dum quadro geológico, morfotect nico e climatológico; (ii) a inventaria o de pontos de água e a defini o de redes de monitoriza o hidrológica; (iii) a realiza o de estudos de campo destinados a observar a geologia, a morfotect nica (por observa o directa ou através da geofísica) ou os solos; (iv) a recolha de amostras de água subterr nea e superficial para estudo hidrogeoqu mico convencional e isotópico.

Palavras Chave

Rochas cristalinas, Maciço Ibérico, hidrogeologia urbana, hidrogeologia de áreas montanhosas.

RESUMEN

Este trabajo ilustra la aplicación de un acercamiento multidisciplinar al estudio de los recursos hídricos subterráneos en dos áreas del Macizo Ibérico Portugu s donde predominan las rocas cristalinas: la área metropolitana de Porto (Norte de Portugal) y un sector de la región de montaña de Sierra de la Estrella (Centro de Portugal). Este acercamiento se encuentra en una perspectiva de obtener un tipo de conocimiento más compatible con una gestión sustentable de los recursos hídricos subterráneos. Esta investigación incluye diversas técnicas, donde se destacan: (i) la elaboración de un enquadramiento geológico, morfoestructural e climatológico; (ii) el inventario de los puntos de agua y la definición de las redes de monitorización hidrológica; (iii) la realización de estudios de campo destinados a observar la geologia, la morfotectónica (por la observación directa o a través de la geofísica) o los suelos; (iv) la recogida de muestras de agua subterránea y superficial para el estudio hidrogeoquímico e isotópico.

Palabras Clave

Rochas cristalinas, Macizo Ibérico, hidrogeologia urbana, hidrogeologia en áreas de montaña.

INTRODUÇÃO

A crescente pressão exercida à escala mundial sobre os recursos hídricos, num cenário de expansão demográfica, de crescimento económico e de alterações climáticas requer uma abordagem científica e tecnológica multidisciplinar como meio para se conseguir o melhor conhecimento sobre os processos envolvidos no ciclo da água. A obtenção de conhecimento científico passível de apoiar a tomada de decisões respeitantes à gestão destes recursos — à escala local, regional ou global — é francamente facilitada quando se utilizam de forma integrada conceitos, métodos e técnicas provenientes de diversas disciplinas científicas, num esforço que, além de multidisciplinar, pode ser interdisciplinar (Assaad *et al.*, 2004).

Os estudos aqui apresentados estão intimamente relacionados com alguns dos temas actualmente considerados mais importantes na investigação científica sobre a água, especialmente a água subterrânea. O Programa Hidrológico Internacional da UNESCO (*e.g.*, Aureli, 2002), por exemplo, considera os temas “Hidrologia das Zonas Montanhosas” (onde se insere o sub-tema “As Zonas Montanhosas enquanto reservatórios de água”) e o tema “Água e Sociedade” (onde se insere o sub-tema “Hidrologia de *habitats* terrestres em áreas urbanas”) (Chilton, 1997, 1999). O relevo dado a estes temas resulta dos princípios fundamentais de que a água subterrânea é tão necessária para o desenvolvimento sustentável como para a vida em geral e de que, para além da importância geológica, hidroquímica e biológica assumida no contexto do ciclo hidrológico, esta assume, ainda, funções sociais, económicas e ambientais.

Pretende-se ilustrar a utilidade duma abordagem multidisciplinar integrando em especial a geologia, a hidrogeologia, a hidrogeoquímica (convencional e isotópica), a geomorfologia e a geofísica em dois casos de estudo situados no Maciço Ibérico Português: a área metropolitana do Porto e um sector da região montanhosa da Serra da Estrela, situados no Norte e no Centro de Portugal, respectivamente (figura 1).

Ambas as áreas estudadas se situam na vizinhança de grandes estruturas tectónicas activas (Ribeiro 1988, Brum Ferreira, 1991; Cabral, 1995). A área metropolitana do Porto é intersectada pela faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (Gama Pereira, 1998; Chaminé 2000; Chaminé *et al.*, 2003), enquanto que a Serra da Estrela é intersectada pela zona de falha de Bragança-Vilariça-Manteigas (Ribeiro *et al.*, 1990).

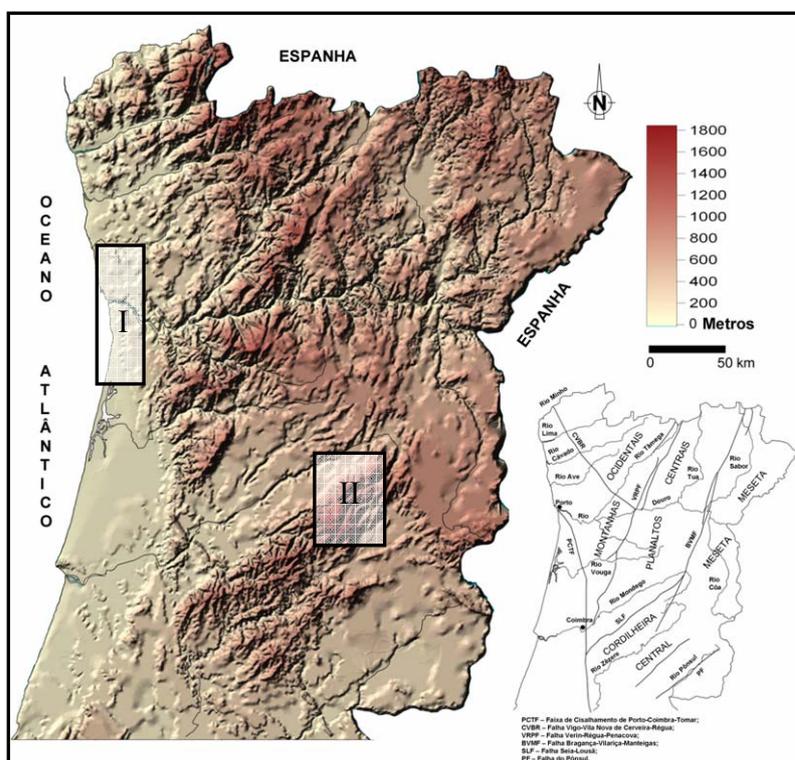


Figura 1. Características morfoestruturais do Norte e Centro de Portugal, com os dois sectores estudados (I – Área Metropolitana do Porto; II – Região montanhosa da Serra da Estrela). A: Modelo digital de terreno do Norte e Centro de Portugal, baseado no “Atlas do Ambiente de Portugal” (1/1000000); B: principais rios e unidades morfotectónicas regionais (adaptado de Brum Ferreira, 1991); principais falhas: PCTF (faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar); CVBR (zona de falha Vigo-Vila Nova de Cerveira-Régua); VRPF (falha de Verin-Régua-Penacova); BVMF (falha de Bragança-Vilariça-Manteigas); SLF (falha de Seia-Lousã); PF (falha de Ponsul).

ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

1. Área metropolitana do Porto

A área metropolitana do Porto (figura 2) localiza-se num domínio geotectónico complexo do Maciço Ibérico (MI), i.e., entre os terrenos da faixa metamórfica de Espinho–Albergaria-a-Velha e o Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão (Chaminé, 2000; Pinto de Jesus, 2001), situando-se, assim, ao longo da sutura, dextra, com direcção geral NNW–SSE — faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar (Zona de Ossa-Morena) — que contacta com a Zona Centro-Ibérica (Ribeiro *et al.*, 1990). Enquadrados na faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra (*s.str.*) estão outros acidentes, sub-paralelos ao anterior, com alguma importância regional.

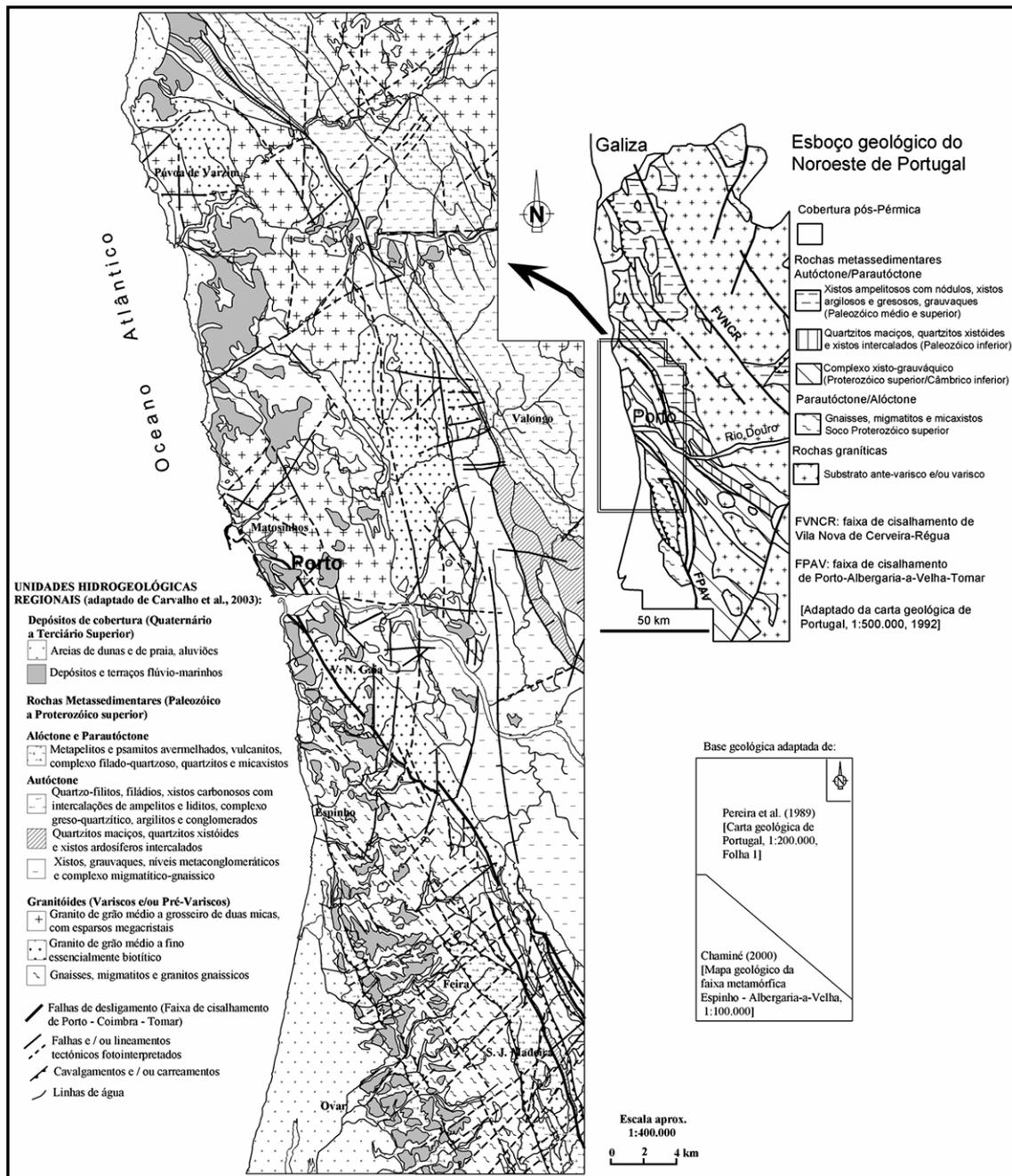


Figura 2. Enquadramento geológico e hidrogeológico regional da área metropolitana do Porto (base geológica adaptada de Chaminé, 2000; base hidrogeológica adaptada de Afonso *et al.*, 2004 e de Carvalho, 2006).

Para além dos acidentes referidos, foi identificada uma rede de acidentes tectónicos que se encontra, em geral, subordinada aos sistemas de fracturação NNE-SSW a ENE-WSW e NW-SE a NNW-SSE. São ainda de alguma importância os sistemas de fracturas N-S a NNW-SSE e as suas conjugadas E-W a NNE-SSW (Chaminé *et al.*, 2003; Araújo *et al.*, 2003).

No MI a evolução tectónica posterior é imposta pela orogenia Alpina (*e.g.*, Ribeiro *et al.*, 1990; Cabral, 1995) correspondendo à reactivação das falhas tardi-variscas e como consequência estará na origem dos actuais traços morfoestruturais da região. Esta região é caracterizada pela predominância de rochas graníticas de idade varisca e/ou pré-varisca, as quais são, maioritariamente, granitóides de duas micas, de grão médio e textura granular (*fácies* granítica do Porto) ou porfíroide (*fácies* granítica de Ermesinde). A *fácies* do granito do Porto aflora em grande parte da cidade do Porto (Almeida, 2001), estendendo-se ainda para os concelhos de Vila Nova de Gaia, Matosinhos e Maia, contactando, a Leste, com uma extensa mancha de rochas metassedimentares (tradicionalmente incluída no “Complexo Xisto-Grauváquico”; Carrington da Costa & Teixeira, 1957) e, a Oeste-Sudoeste, com uma série de unidades tectonoestratigráficas de médio a alto grau metamórfico típicas da ZOM (Complexo Metamórfico da Foz do Douro; Chaminé *et al.*, 2003).

A região litoral da área metropolitana do Porto está, em grande parte, ocupada por depósitos de cobertura de idade holocénica e/ou pliocénica (depósitos aluvionares, dunas fósseis, areias de praia e de dunas actuais), e de idade plio-pleistocénica (depósitos fluviais) — Araújo *et al.* (2003). A faixa compreendida entre o Sul do Porto-Espinho e Aveiro é relativamente aplanada, sendo composta por aluviões actuais e areias de duna e de praia, sendo parte integrante da denominada Bacia Sedimentar de Aveiro (Rocha, 1993). Em termos geomorfológicos, esta região está enquadrada no MI (Ribeiro *et al.*, 1990; Araújo *et al.*, 2003), correspondendo a uma vasta área aplanada — a plataforma litoral, a qual se desenvolve a partir de cotas abaixo dos 125 metros, subindo um pouco para Sul do Porto (figura 2). Esta plataforma termina na base de um relevo acentuado que representa o rebordo interior da plataforma, o apelidado “relevo marginal” (Araújo, 1991); este rebordo rigidamente alinhado no seu conjunto segundo direcções submeridianas, exhibe tramos com orientações diversas entre NNW e NNE (Araújo *et al.*, 2003).

No que concerne à organização geral da rede de drenagem, esta reflecte, em grande parte, a tectónica da área, especialmente, dos sistemas de fracturação regional (NW-SE a NNW-SSE, NE-SW a NNE-SSW e W-E; *cf.* Conde, 1983; Cabral, 1995; Chaminé, 2000; Araújo *et al.*, 2003), impondo os traços morfoestruturais à região.

A área metropolitana do Porto tem um clima temperado Atlântico, com uma precipitação média anual de 1152 mm e uma temperatura média anual de 14°C (Afonso, 2003). As condições geológicas, morfoestruturais, tectónicas e climatológicas desta região condicionam do ponto de vista hidrogeológico a existência dos recursos hídricos subterrâneos (*e.g.*, Carvalho, 1996; Carvalho *et al.* 2003, Afonso *et al.* 2004). Face à escassez de dados no âmbito da hidrogeologia (Afonso, 2003) na região em estudo, as unidades hidrogeológicas que se propõem correspondem, grosso modo, às unidades geológicas maiores definidas, a saber (figura 2, quadro 1): i) depósitos de cobertura, onde se incluem as aluviões, dunas fósseis, areias de praia e de duna actuais, os depósitos de praias antigas e de terraços fluviais, ii) rochas metassedimentares, das quais fazem parte os xistos, grauvaques, quartzo-filitos e quartzitos e iii) rochas graníticas, incluindo-se os granitos de duas micas, de grão médio a grosseiro, por vezes porfíroide, os granitos biotíticos porfíroides de grão variável, os gnaisses, os migmatitos e os granitos gnáissicos.

Quadro 1. Principais características hidrogeológicas da área metropolitana do Porto
 (adaptado de Afonso *et al.*, 2004).

Unidades Hidrogeológicas	TIPOLOGIA DOS AQUÍFEROS E PRODUTIVIDADES																
	Ligação à rede hidrográfica			Tipo de escoamento		Horizonte de alteração				Captações mais produtivas		Risco geológico de insucesso (IMC, m/l/s)			Caudal mediano de exploração por captação (l/s)		
	tem	não tem	pode ter	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso	poços, minas, nascentes	furos	muito elevado IMC>120	elevado 80<IMC<120	baixo IMC<80	muito baixo Q<1l/s	baixo 1<Q<2	elevado Q>2
Áreas de dunas e praia; aluviões	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x				x		x	
Depósitos e terraços flúvio-marinhos	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x				x		x	
Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos, complexo filado-quartzoso, quartzitos e micaxistos			x		x		x	x			x		x				x
Quartzito-filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de ampeitos e liditos, complexo gres-quartzítico, argilitos e conglomerados			x		x	x	x		x		x		x	x			x
Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardosíferos intercalados		x	x		x	x			x		x		x	x			x
Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnáissico			x		x		x	x			x	x	x	x		x	x
Granito de grão médio a grosseiro de duas micas			x		x		x		x	x	x	x				x	
Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico			x		x		x		x	x	x	x				x	
Gnaisses, migmatitos e granitos gnáissicos			x		x	x			x	x	x					x	

2. Área montanhosa da Serra da Estrela

A região da Serra da Estrela tem características geológicas, geomorfológicas e climáticas específicas, que condicionam directamente o ciclo hidrológico regional (nomeadamente no que diz respeito à recarga dos aquíferos e à circulação de águas subterrâneas) e, como consequência, a disponibilidade de recursos hídricos. Estes recursos, de elevada qualidade e valor económico, incluem águas subterrâneas (normais e termominerais) e águas superficiais.

A Serra da Estrela situa-se na Zona Centro-Ibérica do Maciço Ibérico (Ribeiro *et al.*, 1990). As principais unidades geológicas presentes na região são: (i) Rochas graníticas de idade Varisca; (ii) Rochas metassedimentares de idade Precâmbrica-Câmbrica; (iii) depósitos aluvionares e glaciários do Quaternário. A tectónica da área estudada é dominada pela megaestrutura regional designada por zona de falha de Bragança-Vilariça-Manteigas (ZFBVM), a qual corresponde a um desligamento de movimento esquerdo que constitui uma das mais importantes estruturas crustais do sistema tardi-Varisco de fracturas do Noroeste da Ibéria (figura 3).

As condições geológicas constituem uma parte fundamental do sistema hidrogeológico, uma vez que controlam algumas das suas principais características, nomeadamente os processos de infiltração e de recarga dos aquíferos, o tipo de meio de circulação (poroso *vs.* fissurado), os trajectos do fluxo subterrâneo ou a hidrogeoquímica.

A Serra da Estrela integra a Cordilheira Central Ibérica, constituindo o sector mais oriental e elevado do alinhamento montanhoso de direcção SW-NE existente entre a Guarda e a Serra da Lousã ao longo de cerca de 115 km, com uma largura média de 25 km. Com altitude máxima de 1993 m (a mais elevada de Portugal Continental), esta montanha exhibe características climáticas e geomorfológicas particulares que desempenham um papel importante no ciclo hidrológico local, especialmente no sub-ciclo hidrogeológico.

A área concreta do estudo (figura 3) — a bacia do Zêzere a montante de Manteigas (BZMM) — tem uma área de cerca de 28 km² e altitude entre 875 m (na estação hidrométrica de Manteigas) e 1993 m (no alto da Torre). O relevo deste sector da Serra da Estrela consta, fundamentalmente, de dois planaltos separados pelo vale do rio Zêzere, de orientação NNE-SSW: o planalto da Torre-Penhas Douradas (1450-1993 m), do lado ocidental, e o planalto do Alto da Pedrice-Curral do Vento (1450-1761 m), do lado oriental. A geomorfologia glaciária do Plistocénico Superior e os depósitos associados são um traço

distintivo este sector, glaciado durante o Último Máximo da Glaciação (*e.g.*, Daveau *et al.* 1997; Vieira, 2004).

De acordo com Daveau *et al.* (1997), Vieira (2004) e Mora (2006), o clima da Serra da Estrela apresenta traços mediterrâneos, com verões quentes e secos. Por outro lado, a estação húmida vai de Outubro a Maio, com precipitação média anual superior a 2000 mm na maior parte da área dos planaltos, chegando a ultrapassar 2500 mm nas imediações da Torre. A precipitação parece ser fundamentalmente condicionada pela altitude e orientação da serra em relação aos fluxos dominantes das massas de ar. A zona ocidental do maciço apresenta maior número de dias com precipitação do que a zona oriental (mas um valor médio anual ligeiramente inferior).

Vieira & Mora (1998) verificaram que a temperatura média mensal medida nas estações meteorológicas das Penhas Douradas, Lagoa Comprida e Penhas da Saúde revelam que a Serra da Estrela é caracterizada por um regime térmico simples, sendo o mês mais quente Julho e o mais frio Janeiro. A temperatura média anual é inferior a 7°C na maior parte da área dos planaltos, sendo, no Alto da Torre, inferior a 4°C. As unidades hidrogeológicas definidas nesta área (Quadro 2) são as seguintes (Espinha Marques, *in prep.*): (i) Depósitos de cobertura que incluem, localmente, depósitos aluvionares, glaciários e fluvioglaciários; (ii) Rochas metassedimentares, localmente compostas por xistos, grauvaques e metaconglomerados; (iii) Rochas graníticas, localmente correspondentes a diversos tipos de granitóides.

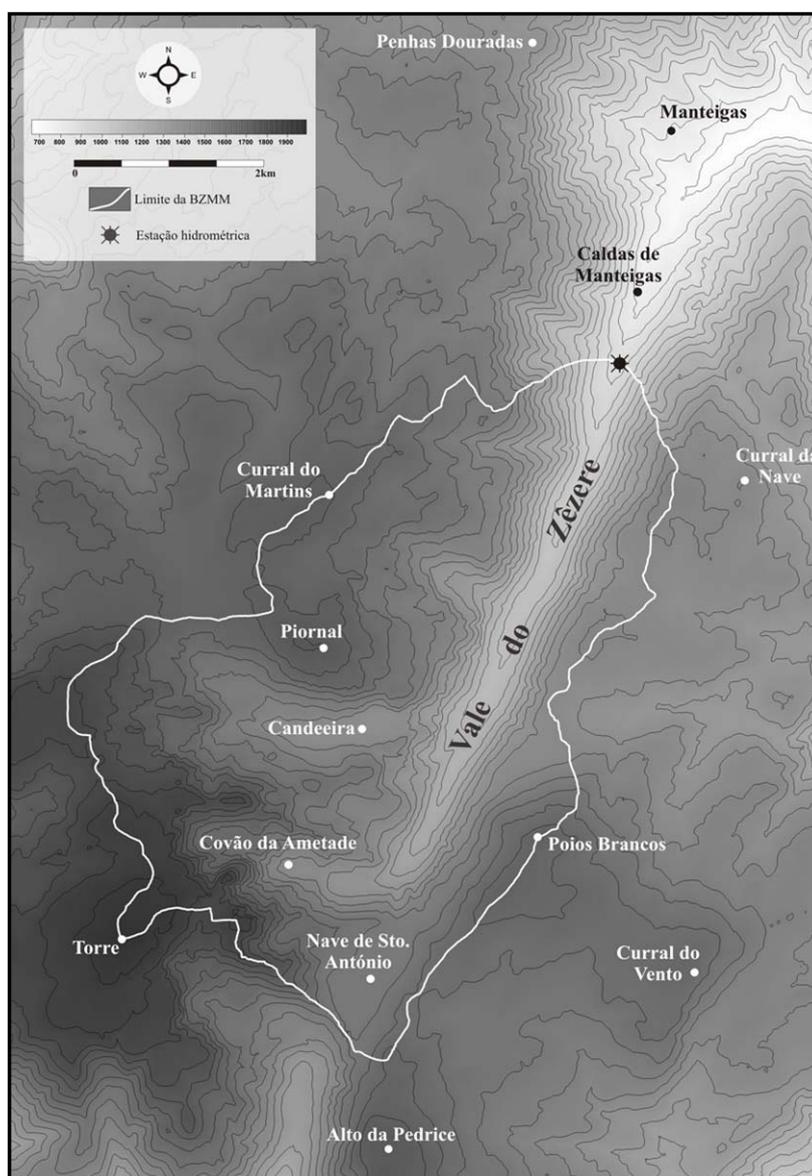


Figura 3. Morfologia e unidades hidrogeomorfológicas da bacia do rio Zêzere a montante de Manteigas.

Quadro 2. Caracterização das unidades hidrogeológicas da BZMM (extraído de Espinha Marques *in prep.*).

Unidades hidrogeológicas regionais	Unidades hidrogeológicas locais	Características hidrogeológicas										
		Ligação hidráulica com a rede de drenagem			Tipo de meio de circulação		Horizonte de Meteorização			Tipo de captação mais produtivo		
		Presente	Ausente	Possível	Poroso	Fissurado	Esp. reduzida*	Esp. elevada*	Argiloso	Arenoso	Poços ou nascentes	Furos
Cobertura sedimentar	Depósitos glaciários e fluvio-glaciários	•			•		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	•	
	Depósitos aluvionares	•			•		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	•	
Rochas metassedimentares	Xistos, grauvaques e metaconglomerados			•		•		•				•
Rochas graníticas	Granitos			•		•	•		•		•	•

(*) Espessura reduzida: inferior a 10 m. Espessura elevada: superior a 10 m. n.a.: não aplicável.

METODOLOGIAS E TÉCNICAS

Os estudos aqui apresentados pretendem definir um quadro geológico, morfotectónico e hidrológico destinado a enquadrar o modelo hidrogeológico conceptual a definir em cada área de estudo.

Assim, a importância da rede de fracturação será levada em conta, especialmente no que respeita à sua geometria, aos processos de abertura e selagem de fissuras, campos de tensão e bombagem sísmica. Para este fim, estudos cuja escala varia entre a do afloramento e a da imagem de satélite vêm sendo realizados. Nesta tarefa aplicam-se Sistemas de Informação Geográfica (SIG), teledetecção, geofísica (com destaque para a resistividade eléctrica) e análise tectónica com o objectivo de caracterizar os principais lineamentos tectónicos. Os resultados obtidos por via computacional referentes à análise de modelos digitais do terreno e a estruturas geológicas são complementados com resultados provenientes de observações de campo.

Os estudos incluem também o levantamento de inventários hidrogeológicos, donde resulta a definição de redes de monitorização de pontos de água subterrânea (nascentes, poços de grande diâmetros, minas e furos) e superficial. Em alguns destes pontos foram realizadas campanhas de amostragem de água destinada a análise química convencional e isotópica (^{18}O , ^2H , ^{13}C , ^3H e ^{14}C).

A informação hidrogeoquímica referente aos elementos maiores e menores é usada para conhecer a evolução química das águas subterrâneas, especialmente a sua origem e os fenómenos de interacção entre a água e as rochas dos meios de circulação.

A identificação de áreas de recarga exige a contribuição conjunta dos resultados da hidrogeoquímica convencional e isotópica e da consideração de critérios geológicos, hidrogeológicos e hidrogeomorfológicos. Nesta fase são levados em conta a litologia, a hidroquímica, a morfoestrutura, o clima e o tipo de solo e sua ocupação.

A investigação realizada na Serra da Estrela inclui tarefas e métodos específicos, sendo de salientar os seguintes:

(i) A investigação das características da zona não saturada é de particular importância no âmbito de estudos hidrológicos, dado o papel que desempenha no controlo da disponibilidade e do quimismo dos recursos hídricos subterrâneos. Destaca-se a avaliação (*in situ* e laboratorial) de diversas propriedades físicas dos solos (textura, estrutura, densidade real, densidade aparente, porosidade total, cor, retenção de água e condutividade hidráulica), a que se juntam outras propriedades (pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiónica, mineralogia e geoquímica).

(ii) A presença na Serra da Estrela de recursos hídricos subterrâneos de elevada qualidade e valor económico cuja gestão sustentável depende em grande medida do conhecimento das feições geológicas e

morfoestruturais do maciço montanhoso as quais controlam a localização das áreas de recarga e a circulação subterrânea. Este sector fornece água para consumo humano de grande qualidade à Vila de Manteigas e a uma unidade industrial de engarrafamento. Por outro lado, águas termominerais sulfúreas são utilizadas no estabelecimento termal das Caldas de Manteigas para fins terapêuticos. Acrescente-se ainda que, a bacia hidrográfica do rio Zêzere a montante de Manteigas contribui para o armazenamento na barragem de Castelo do Bode, a qual abastece de água a cidade de Lisboa.

(iii) Uma vez que a queda de neve acima dos 1700 m de altitude pode representar uma fracção importante da precipitação anual, tem-se procurado estimar recarga dos aquíferos com origem na precipitação nevosa, especialmente através da hidrologia isotópica.

(iv) Os dados provenientes das diversas tarefas efectuadas contribuem para a modelação hidrológica realizada com o programa **Visual Balan V.2.0** (e.g., Samper *et al.*, 1999, 2000) o qual permite realizar balanços hidrológicos sequenciais diários abrangendo o solo (em sentido pedológico), a zona não saturada e o aquífero. O programa tem como base um modelo matemático agregado e determinístico. O **Visual Balan** tem vindo a ser acoplado a um Sistema de Informação Geográfica, tendo surgido o novo modelo distribuído **GIS-Balan** (e.g., Samper *et al.*, 2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geologia dominada pelas rochas cristalinas (em particular granitos e rochas metassedimentares) constitui um traço comum às duas regiões englobadas no presente estudo hidrogeológico: área urbana do Porto e região montanhosa da Serra da Estrela. A caracterização hidrogeológica de tais ambientes hidrogeológicos é complexa, devido à elevada heterogeneidade dos materiais geológicos, aliada à anisotropia da rede de fracturação. O fluxo da água subterrânea é controlado, em especial, pela presença de falhas e zonas de alteração nos maciços, donde podem resultar zonas produtivas descontínuas, coincidentes com locais dos sistemas aquíferos de permeabilidade mais elevada.

Na região do Maciço Ibérico, a litologia juntamente com a tectónica são os factores que mais directamente influenciam a produtividade regional das unidades hidrogeológicas. No entanto, a necessidade de se aprofundar o conhecimento sobre a fase subterrânea do ciclo hidrológico nesta região conduz a uma abordagem claramente multidisciplinar onde, para além dos aspectos já referidos, há que considerar a hidrogeomorfologia, a geotectónica, a hidrogeoquímica, a hidrologia isotópica, a geofísica ou a pedologia.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e de fundos do FEDER através dos projectos de I&D HIMOCATCH (POCTI/CTA/44235/02) e GROUNDURBAN (POCTI/CTE-GIN/59081/2004).

REFERÊNCIAS

- Afonso, M.J., Chaminé H.I., Gomes A., Teixeira J., Araújo M. A., Fonseca P.E., Carvalho J.M., Marques J.M., Marques da Silva M.A. & Rocha F.T. (2004). Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, Santiago de Compostela, **4**: 101-115.
- Afonso, M.J.C. (2003). Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, A Coruña*, **28**: 173-192.
- Almeida, A. (2001). Caracterização geoquímica e geocronológica do granito de duas micas sintectónico do Porto (NW de Portugal). In: Lago M., Arranz E. & Galé C. (eds), *Proceedings III^{er} Congreso Ibérico de Geoquímica/VIII Congreso de Geoquímica de España*. Instituto Tecnológico de Aragón, Zaragoza, pp. 311-315.
- Araújo, M. A. (1991). Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto. Universidade do Porto, 534 pp. + Vol. Anexos [87 pp.] (Tese de doutoramento).
- Araújo, M.A., Gomes, A.A., Chaminé, H.I., Fonseca P.E., Gama Pereira, L.C. & Pinto de Jesus, A. (2003). Geomorfologia e geologia regional do sector de Porto-Espinho (W de Portugal): implicações morfoestruturais na cobertura sedimentar Cenozóica. *Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe, A Coruña*, **28**: 79-105.
- Assaad, F.A.; LaMoreaux, P.E.; Hughes, T.H.; Wangfang, Z. & Jordan, H. (2004). *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer-Verlag. 420 pp.
- Aureli, A. 2002. What's ahead in UNESCO's International Hydrological Programme (IHP VI 2002-2007)? *Hydrogeology Journal*, **10**: 349-350.
- Brum Ferreira, A. (1991). Neotectonics in Northern Portugal: a geomorphological approach. *Zeitschrift für Geomorphologie*, Berlin-Stuttgart, N.F., **82**: 73-85.

- Cabral, J. (1995). Neotectónica em Portugal Continental. *Memórias Inst. Geol. Min., Lisboa*, **31**: 1-265.
- Carrington da Costa, J.; Teixeira, C. (1957). Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50000. Notícia explicativa da Folha 9-C (Porto). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 38 pp.
- Carvalho, J.M. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian massif. *Environmental Geology*, **27**: 252-258.
- Carvalho, J. M., 2006. Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Universidade de Aveiro. 292pp. (Tese de Doutoramento).
- Carvalho, J.M., Chaminé, H.I. & Plasencia, N. (2003). Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos do maciço cristalino do Norte de Portugal: implicações para o desenvolvimento regional. In: Portugal Ferreira, M. (coord.), *A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação. Volume de Homenagem ao Prof. Doutor Cotelto Neiva*, Imprensa da Universidade, Série Investigação, Coimbra. **2**: 245-264.
- Chaminé, H.I. (2000). *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. 497 pp. (Tese de Doutoramento).
- Chaminé, H.I., Gama Pereira, L.C., Fonseca, P.E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M.J. (2003). Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, A Coruña*, **28**: 37-78.
- Chilton, J. (1997). *Groundwater in the urban environment: selected city profiles*. A. A. Balkema. 342 pp.
- Chilton, J. (1999). *Groundwater in the urban environment: problems, process and management*. A. A. Balkema. 682 pp.
- Conde, L. N. (1983). “Mapa de fracturas de Portugal (Memória descritiva)”. EDP, 118 pp., 4 mapas. (Relatório inédito).
- Daveau, S., Ferreira, A.B., Ferreira, N. & Vieira, G. (1997). Novas observações acerca da glaciação da Serra da Estrela. *Estudos do Quaternário, Lisboa*, **1**: 41-51.
- Espinha Marques, J. (in prep). *Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da região do Parque Natural da Serra da Estrela (sector de Manteigas–Nave de Sto. António–Torre)*. Universidade do Porto (Tese de Doutoramento).
- Gama Pereira, L. C. (1998). A faixa de cisalhamento Porto-Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiázere (Portugal Central). *Geologos, Rev. Dep. Geol. Univ. Porto*, **2**: 23-27.
- Mora, C. (2006). *Climas da Serra da Estrela: características regionais e particularidades locais dos planaltos e do alto vale do Zêzere*. Universidade de Lisboa, 427 p. (Tese de Doutoramento).
- Pereira, E.; Ribeiro, A.; Carvalho, G. S.; Noronha, F.; Ferreira, N. & Monteiro, J. H. [coords.] (1989). *Carta Geológica de Portugal, escala 1/200000, Folha 1*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Pinto de Jesus, A. (2001). Génese e evolução da Bacia Carbonífera do Douro (Estefaniano C inferior, NW de Portugal): um modelo. Universidade do Porto, Vol. Texto: 272 pp., Vol. Atlas: 71 pp. (Tese de doutoramento).
- Ribeiro, A. (1988). A tectónica Alpina em Portugal. *Geonovas, Assoc. Portg. Geol., Lisboa*, **10**: 9-11.
- Ribeiro, A., Kullberg, M.C., Kullberg, J.C., Manuppela, G. & Phipps, S. (1990). A review of Alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, **184**: 357-366.
- Rocha, F. T. (1993). Argilas aplicadas a estudos litoestratigráficos e paleoambientais na Bacia Sedimentar de Aveiro. Universidade de Aveiro, 398 pp. (Tese de doutoramento).
- Samper, J., Huget, L., Arés, J. & García, M.A. (1999). Manual del usuario del programa Visual Balan V.1.0. *Publicación Técnica de ENRESA*, **5** (99): 1-132.
- Samper, J., Huget, L., Arés, J. & García, M.A. (2000). Modelos interactivos de balance hidrológico: aplicación a cuencas de Galicia. In: Samper, J.; Leitão, T.; Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.), *Jornadas Hispano-Lusas sobre ‘Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica’*. *Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones*. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. Publicaciones ITGE, Madrid. pp. 211-219.
- Samper, J., Vera, M. A. G., Pisani, B., Alvares, D., Espinha Marques, J. Alberto Varela, A. & Losada, J. A. (2005). Hydrologic models and Geographic Information Systems for water resources evaluation: Application of GIS-BALAN to Atlantic basins in Spain and Portugal. In: Lopo Ferreira, J.P. & Vieira, J. (eds). *Proceedings The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources - Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability*, Univ. Minho, Guimarães, LNEC-IAHS (Cd-Rom edition).
- Vieira, G. T. (2004). *Geomorfologia dos planaltos e altos vales da Serra da Estrela: ambientes frios do Plistocénico Superior e dinâmica actual*. Universidade de Lisboa, 724p. (Tese de Doutoramento).
- Vieira, G.T. & Mora, C. (1998). General characteristics of the climate of the Serra da Estrela. In: Vieira, G.T. (ed.), *Glacial and Periglacial Geomorphology of the Serra da Estrela. Guidebook for the field-trip, IGU Commission on Climate Change and Periglacial Environments*. CEG and Department of Geography, University of Lisbon, Lisbon, pp. 26-36.