

UMA ABORDAGEM GEOAMBIENTAL NO ESTUDO DOS SUBTERRANEOS DA CIDADE DO PORTO: O CASO DO MANANCIAL DE PARANHOS

Maria José AFONSO

Prof. Adjunta, Geóloga, Dep. Eng^a Geotécnica, ISEP, R. Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, mja@isep.ipp.pt;

Helder I. CHAMINÉ

Prof. Coordenador, Geólogo, Dep. Eng^a Geotécnica, ISEP, R. Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, hic@isep.ipp.pt;

José MARTINS CARVALHO

Prof. Adjunto, Geólogo, Dep. Eng^a Geotécnica, ISEP, R. Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4200-072 Porto, jmc@tarh.pt;

José M. MARQUES

Prof. Aux., Eng^o de Minas, IST, Univ. Técnica de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001, Lisboa, jmmarques@mail.ist.utl.pt;

Paula M. CARREIRA

Inv. Aux., Geóloga, ITN, Estrada Nacional nº 10, 2685 Sacavém, carreira@itn.pt;

Laura GUIMARÃES

Inv. Aux., Bióloga, CIIMAR/CIMAR-LA, Lab. Ecotoxicologia, R. dos Bargas, 289, 4050-123 Porto, lguimaraes@cimar.org;

Lúcia GUILHERMINO

Prof. Cat., Bióloga, CIIMAR/CIMAR-LA: ICBAS., UP, Largo Prof. Abel Salazar, 2, 4099-003 Porto; lguilher@icbas.up.pt;

Paulo E. FONSECA

Prof. Aux., Geólogo, Dep. Geologia, FCUL, Edifício C6, 2º Piso, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, gpelfons@fc.ul.pt

Alberto GOMES

Assistente, Geógrafo, Dep. Geografia da Faculdade de Letras, UP, Via Panorâmica, 4150-564 Porto, atgomes@netcabo.pt;

Madalena FONSECA

Inv. Aux., Geóloga, Centro de Estudos de Pedologia, IICT, ISA, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, madfons@isa.utl.pt;

Ana PIRES

Bolseira, Eng^a Geotécnica, C. Minerais Industriais e Argilas, UA, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, anitapinky@sapo.pt;

Fernando T. ROCHA

Prof. Cat., Geólogo, Dep. Geociências/C. Minerais Industriais e Argilas, UA, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, frocha@geo.ua.pt

Resumo

Este trabalho apresenta, mediante uma abordagem geoambiental, uma caracterização geológico-estrutural do subsolo granítico da cidade do Porto, e ainda uma avaliação hidrogeológica, isotópica e ecotoxicológica da água subterrânea. Este estudo foi realizado ao longo de um sistema de galerias subterrâneas, com mais de 3 km de extensão, captando o antigo manancial de Paranhos (também conhecido como o manancial da Arca d'Água), o qual constituiu, durante mais de cinco Séculos, uma das principais fontes de abastecimento de água à população da cidade do Porto. A investigação em curso inclui diversas técnicas, onde se destacam: (i) a elaboração dum quadro geológico, morfotectónico e geotécnico; (ii) a inventariação de pontos de água para a caracterização hidrogeológica; (iii) a recolha de amostras de água subterrânea para estudo hidrogeoquímico convencional e isotópico e ecotoxicológico. Por fim, procedeu-se à elaboração de mapas temáticos integradores da informação subterrânea (*e.g.*, mapa geológico-estrutural, mapa do grau de alteração, mapa de hidrogeológico) e da cartografia superficial disponível. Um estudo desta índole pretende contribuir para uma melhor gestão do geo-espaço urbano, quer em termos históricos e patrimoniais, quer no que toca ao aproveitamento da água para diversos fins de utilidade pública.

Palavras-chave - Hidrogeologia, ecotoxicologia, cartografia aplicada, geoambiente, NW de Portugal

1 - INTRODUÇÃO

A água é uma parte integrante do ambiente e a sua disponibilidade é indispensável para o funcionamento efectivo da biosfera. Mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas, o que provoca um impacto importante no ciclo hidrológico devido à impermeabilização da superfície, a qual reduz a infiltração directa e acarreta um aumento do escoamento superficial (*e.g.*, CHILTON, 1997, 1999; LERNER, 2004). A crescente pressão exercida sobre os recursos hídricos, sob as condições de mudança global climática e antrópica, requer muitas vezes estudos multidisciplinares integrados. O impacto negativo na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos pode demorar um longo período a ser detectado, uma vez que o tempo de resposta dos sistemas subterrâneos é o mais extenso de todas as componentes do ciclo hidrológico.

Uma vez que a aquisição de dados hidrogeológicos em áreas urbanas é muitas vezes difícil, a integração de aspectos geológicos e morfotectónicos assume uma importância crucial na previsão dos possíveis impactos da interacção água superficial-água subterrânea. A intensidade do impacto está normalmente dependente da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos e está directamente relacionada com o tipo de desenvolvimento urbano.

Este trabalho apresenta uma abordagem multidisciplinar para avaliar os processos hidrogeológicos e hidrobiológicos envolvidos nos recursos hídricos subterrâneos da área urbana do Porto. Este tipo de abordagem permite encarar de uma forma conjunta (e não isolada) os distintos aspectos do ciclo hidrológico, relacionados com os sistemas de água subterrânea em áreas urbanas, possibilitando uma melhor avaliação, desenvolvimento e gestão do ambiente urbano (*e.g.*, LEGGET, 1973; FOSTER, 1996; CHILTON, 1997, 1999; LERNER, 2004). Espera-se profundamente que os resultados de uma investigação científica desta natureza venham a ter forte impacto nas populações que utilizam a água e o subsolo na área urbana em estudo.

Com o intuito de compreender os sistemas ambientais da área urbana do Porto, pretende-se igualmente com este trabalho avaliar as interacções água superficial - água subterrânea, bem como analisar as necessidades de água decorrentes de uma rápida expansão urbana, industrial e agrícola. Os aquíferos urbanos são os mais susceptíveis à degradação e contaminação, determinando a taxa de infiltração o seu nível de vulnerabilidade. De facto, a área urbana do Porto está fortemente relacionada com a conjuntura que envolve a morfotectónica, a paleoalteração, a biogeoquímica e o clima.

2 - ÁREA URBANA DO PORTO: UM CASO DE ESTUDO

2.1 Objectivos

O objectivo primordial do projecto de investigação "*GROUNDURBAN I&D*" é compreender o papel desempenhado pela cartografia geológico-estrutural e hidrogeológica na gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos da área urbana do Porto, na qual a água subterrânea é um recurso importante para o abastecimento público (AFONSO, 1997, 2003; AFONSO *et al.*, 2004).

Os principais objectivos do Projecto *GROUNDURBAN* são os seguintes, a saber (figura 1): i) adoptar valências geotecnológicas importantes para desenvolver uma avaliação ambiental multidisciplinar integrada dos recursos hídricos; ii) actualizar o conhecimento das inter-relações entre o clima, a hidrologia e a biologia em áreas urbanas; iii) avaliar a qualidade/quantidade das águas subterrâneas com base em parâmetros hidrogeoquímicos, isotópicos e ecotoxicológicos; iv) caracterizar os principais sistemas geológicos e morfotectónicos fissurados relacionados com a recarga e a circulação subterrânea; v) fornecer informação para o apoio à decisão, no que respeita à gestão e ao planeamento da utilização do subsolo e das águas subterrâneas.

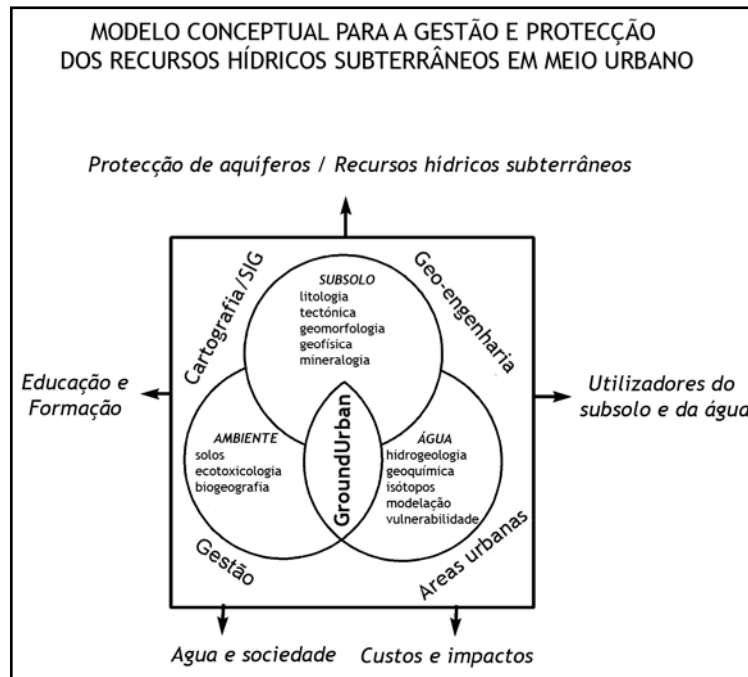


Figura 1 Projecto *GROUNDURBAN*: modelo conceptual para a gestão e protecção dos recursos hídricos subterrâneos.

O projecto *GROUNDURBAN* está fortemente relacionado com uma das áreas de investigação mais cruciais relacionadas com a água na viragem do milénio, “Água e Sociedade”, tal como é indicado pelo Programa Hidrológico Internacional apresentado pela UNESCO (AURELI, 2002). Uma atenção especial será dedicada ao tema “Hidrologia de *habitats* terrestres em áreas urbanas” e o seu papel e impacto ambiental na circulação e recarga das águas subterrâneas. Este tópico baseia-se no princípio fundamental de que a água subterrânea é essencial, quer ao desenvolvimento sustentável, quer à vida; além disso, a água tem, além das suas funções geológica, hidroquímica e biológica no ciclo hidrológico, um valor económico e ambiental. A abordagem multidisciplinar deste projecto compreende o recurso às seguintes metodologias: hidrogeologia, geoquímica isotópica e hidrogeoquímica, ecotoxicologia, mineralogia de argilas e paleoalteração, geofísica aplicada, tectónica e detecção remota, geomorfologia estrutural e geotecnia ambiental.

2.2 Breve história da cidade do Porto

A cidade do Porto está localizada na margem direita do Rio Douro, no NW de Portugal, sendo uma das cidades mais antigas da Europa. A história da cidade do Porto remonta, pelo menos, ao século VI, desde o tempo dos Suevos. A conquista do designado *Portucale*, em 868 A.D., a primeira designação da região do Porto, é considerada como um dos acontecimentos mais importantes da história antiga da cidade do Porto. No entanto, depois de 868 A.D., esta cidade tornou-se o centro do movimento da reconquista cristã na Península Ibérica. A cidade do Porto tornou-se uma importante urbe desde o século XII e tem-se desenvolvido ao longo das escarpas graníticas do Rio Douro. A zona histórica da cidade, face ao seu espólio arquitectónico e histórico, conduziu ao seu reconhecimento como património mundial da UNESCO em 1996.

2.3 Enquadramento geológico e geomorfológico regional

A área urbana do Porto está localizada num domínio geotectónico complexo do Maciço Ibérico (RIBEIRO *et al.*, 1990), *i.e.* na faixa de cisalhamento de Porto–Coimbra–Tomar (CHAMINÉ *et al.*, 2003). O substrato rochoso cristalino da cidade do Porto é constituído essencialmente por granitos na zona oriental e por um complexo de gnaisses e micaxistos na região ocidental (figura 2).

O enquadramento geotectónico regional da área urbana do Porto (*e.g.*, SHARPE, 1849; BARATA, 1910; ROSAS DA SILVA, 1936; CARRINGTON DA COSTA, 1938, 1958; CHAMINÉ, 2000; ALMEIDA, 2001; CHAMINÉ *et al.*, 2003) compreende um substrato cristalino fortemente deformado com uma complexa história tectonometamórfica do Proterozóico superior / Paleozóico. O granito do Porto é um granitóide de duas micas, de grão grosseiro, cinzento, apresentando-se amarelado quando está alterado. Este granito encontra-se, geralmente, meteorizado em diferentes graus, desde rocha sã a solo residual, exibindo condições geotécnicas muito variáveis, resultante especialmente da arenização e caulnização, as quais podem atingir profundidades superiores a 100m (*e.g.*, BEGONHA e SEQUEIRA BRAGA, 1995; BEGONHA, 2001; GAJ *et al.*, 2003). A paleoalteração química ocorreu durante os tempos Cenozóicos, sob condições climáticas tropicais a subtropicais (ARAÚJO *et al.*, 2003).

Em termos geomorfológicos regionais, a região do Porto corresponde a uma área aplanada, inclinando ligeiramente para os quadrantes Sul e Oeste. Existem evidências ubíquas de actividade neotectónica, tais como: a) falhas geológicas abundantes (principalmente inversas) que afectam os depósitos mais elevados desta plataforma litoral; b) os mesmos níveis marinhos parecem ocorrer a diferentes altitudes, desenvolvendo-se um padrão irregular com uma ligeira inclinação de Norte para Sul (ARAÚJO *et al.*, 2003).

2.4 Enquadramento hidrogeológico

As unidades hidrogeológicas descritas na área urbana do Porto apresentam-se no quadro 1, em conjunto com um enquadramento geral do mapa hidrogeológico da região de Vila do Conde-Porto-Ovar (figura 2), os quais poderão ser utilizados no futuro como um instrumento importante para a gestão sustentável dos recursos hídricos locais.

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

Grupos Hidrogeológicos Regionais	Unidades Hidrogeológicas	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS										
		Ligação à rede hidrográfica			Tipo de escoamento		Horizonte de alteração				Captações mais produtivas	
		tem	não tem	pode ter	meio poroso	meio fissurado	espessura baixa	espessura alta	argiloso	arenoso	pocos, minas, nascentes	furos
Depósitos de cobertura	Areias de dunas e praia; aluviões	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x	
	Depósitos e terraços flúvio-marinhos	x			x		n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	x	
Rochas metassedimentares	Quartzo-fílios, micaxistos e xistos negros			x		x	x			x		x
	Quartzitos e xistos ardósíferos		x	x		x	x			x		x
	Xistos, grauvaques e metaconglomerados			x		x		x	x			x
Rochas graníticas	Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com megacristais de feldspato K			x		x		x		x	x	
	Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico			x		x		x		x	x	
	Gnaisses e migmatitos			x		x	x	x		x	x	

n.a. = não aplicável

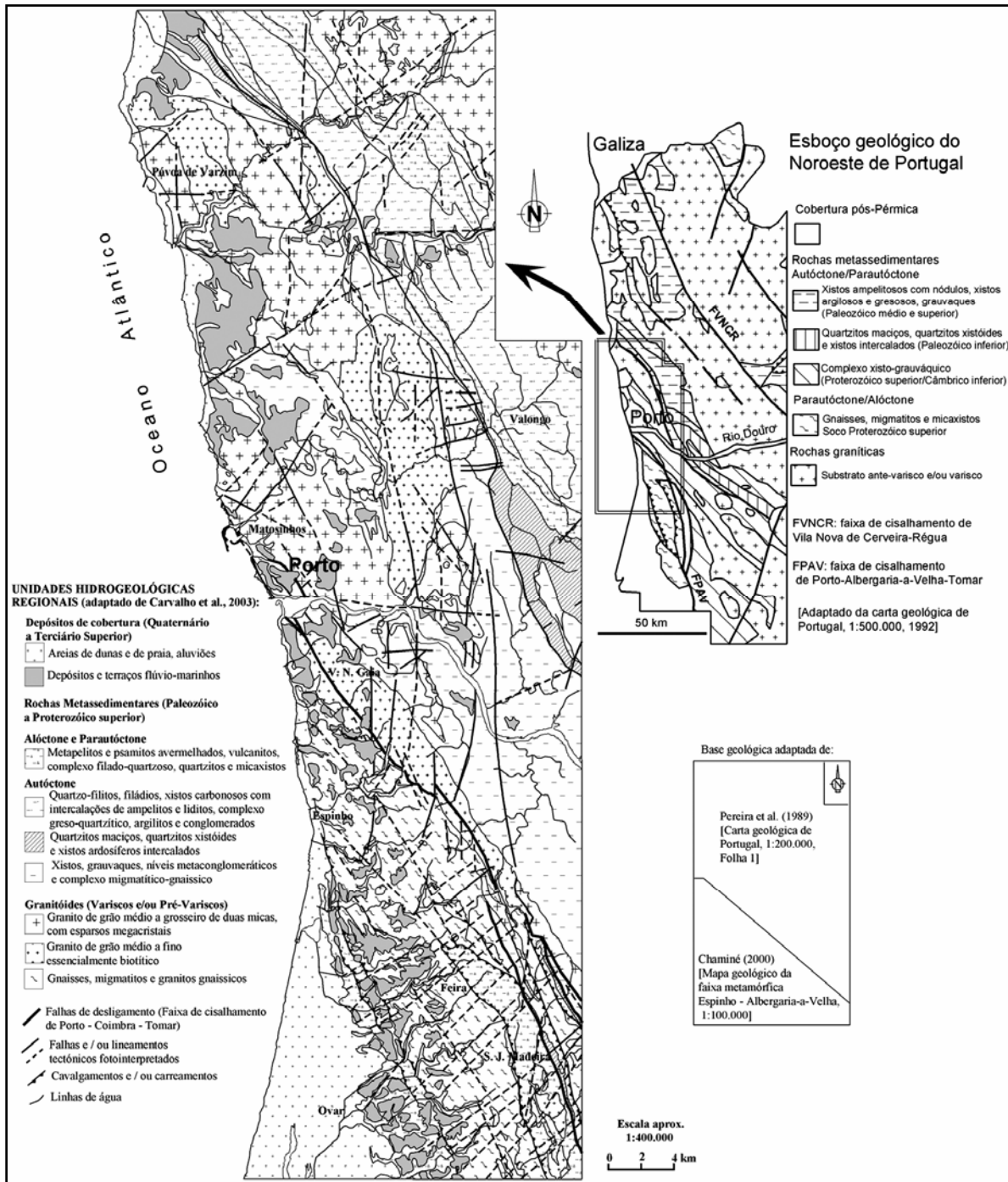


Figura 2 Enquadramento geológico e hidrogeológico regional da área metropolitana do Porto; base geológica adaptada de PEREIRA *et al.* (1989) e de CHAMINÉ (2000); base hidrogeológica adaptada de CARVALHO *et al.* (2003); AFONSO *et al.* (2004) e CARVALHO (2006).

2.5 As galerias do manancial de Paranhos: uma abordagem geoambiental

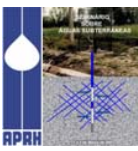
O antigo manancial de Paranhos (também conhecido como manancial da Arca d'Água ou da Arca das Três Fontes) constituiu durante mais de cinco séculos uma das principais fontes de abastecimento de água à cidade do Porto (*e.g.*, BOURBON E NORONHA, 1885; FERREIRA DA SILVA, 1889; CARTEADO MENA, 1908; FONTES, 1908; SMAS, 1961; AMORIM e PINTO, 2001; AFONSO, 2003; AFONSO *et al.*, 2006). Este trabalho apresenta os primeiros resultados dos estudos de geologia estrutural e geotécnica da compartimentação do maciço granítico aflorante nas galerias subterrâneas que captavam o antigo manancial. Para a caracterização do maciço rochoso granítico aflorante nas galerias, recorreu-se à técnica da amostragem linear de descontinuidades em faces expostas do maciço (ISRM, 1978, 1981). Para tal, a área subterrânea (*ca.* 3km de extensão e uma profundidade máxima de -25m) foi estudada recorrendo às seguintes ferramentas: cartografia geológica e geotécnica da subsuperfície (escala: 1/1.000) e, aplicação de técnicas de geologia estrutural, geotécnica/geomecânica e hidrogeológica (*e.g.*, ISRM, 1981; STRUCKMEIER e MARGAT, 1995; ASSAAD *et al.*, 2004). Numa primeira fase, foram levadas a cabo campanhas de terreno à superfície e subsuperficiais, para identificar os principais acidentes tectónicos responsáveis pela circulação da água subterrânea, bem como para compreender as heterogeneidades litológicas e estruturais. Os resultados obtidos a diferentes escalas foram comparados com o intuito de detectar a presença de um padrão de fracturação multi-escala. A figura 3 apresenta a cartografia geológica e hidrogeológica de uma das galerias subterrâneas (sector Túnel Rua S. Dinis — Rua dos Burgães).

Nas investigações hidrogeológicas em áreas urbanas, as análises químicas e a avaliação ecotoxicológica das águas amostradas em nascentes, poços e furos podem fornecer informações importantes no que diz respeito à avaliação de processos de mistura entre as águas superficiais e subterrâneas. De facto, em áreas urbanas, a composição química e a potencial toxicidade das águas subterrâneas locais é muitas vezes condicionada pelas actividades antrópicas, uma vez que a intensa urbanização e as práticas agrícolas controlam as condições que ocorrem a níveis superficiais. Neste trabalho, recorreu-se à combinação de métodos hidrogeológicos, hidrogeoquímicos, isotópicos e ecotoxicológicos para avaliar a natureza e adequação para a utilização da água subterrânea dos mananciais localizados na área urbana do Porto. Numa primeira fase, foram levadas a cabo campanhas de terreno hidrogeológicas, tendo-se registado *in situ* os seguintes parâmetros: temperatura (°C), pH and condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Seguidamente foram estabelecidos diversos pontos de amostragem, baseados nas actividades à superfície localizadas no alinhamento das nascentes e foram realizadas colheitas de água para análise hidroquímica (em todas as amostras de água foram analisados os elementos maiores), isotópica e ecotoxicológica.

No que respeita às metodologias isotópicas, a determinação dos valores $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$ (vs V-SMOW) nas águas subterrâneas da região em estudo tem vindo a ser utilizada em paralelo com a análise dos elementos maiores. A vulnerabilidade das fontes de água subterrânea está igualmente a ser avaliada mediante a determinação das concentrações em ^3H (T.U.). De facto, a aplicação das técnicas isotópicas em coordenação com a hidrogeoquímica dos elementos maiores poderá vir a ser extremamente útil no delinear da infiltração e propagação horizontal da recarga urbana, que, na maioria dos casos, é uma questão chave na gestão dos sistemas aquíferos em áreas urbanas.

É igualmente de salientar que o Programa Hidrológico Internacional da UNESCO (PHI-VI / UNESCO para 2004 - 2007) inclui um Subprograma "*Joint International Isotopes in Hydrology Programme (JIHP)*" que tem por principais objectivos promover i) o ensino e divulgação da Hidrologia Isotópica nos *Curricula* Universitários e, ii) a aplicação de métodos isotópicos na resolução de problemas geohidrológicos.

Para a avaliação ecotoxicológica foram realizados bioensaios padronizados de toxicidade aguda



com o microcrustáceo *Daphnia magna*. Para cada amostra de água recolhida, efectuaram-se simultaneamente dois bioensaios para determinação da CL50 às 48h: um com correcção de pH e outro sem correcção. Para cada bioensaio prepararam-se 5 concentrações diferentes por diluição da amostra recolhida com o meio água dura ASTM (ASTM, 1980). As análises hidroquímicas preliminares mostraram que estas águas apresentam uma composição rica em nitrato e sulfato, provavelmente resultantes da intensa urbanização, esgotos domésticos e algumas práticas agrícolas. No que diz respeito às análises ecotoxicológicas, não foi registada qualquer mortalidade em nenhum dos testes realizados.

Os resultados obtidos neste estudo sugerem que as águas subterrâneas da área urbana do Porto não são próprias para consumo humano, mas poderão ser adequadas para a irrigação. Contudo, deverão ser levados a cabo testes adicionais para verificar a sua conformidade com os padrões de qualidade existentes. Em especial, são necessários estudos hidrogeológicos e ecotoxicológicos para avaliar as potenciais variações na composição da água e na toxicidade associadas com alterações sazonais no clima e na actividade antrópica.

3 - CONCLUSÕES

A caracterização dos recursos de água subterrânea em áreas urbanas levanta importantes questões relacionadas com a gestão sustentável destes recursos locais e regionais. Esta usualmente providencia o recurso a metodologias e a técnicas para a avaliação da interacção entre as águas superficiais e subterrâneas, com o objectivo de prever e mitigar possíveis problemas ambientais.

As abordagens multidisciplinares em hidrologia subterrânea são, provavelmente, aquelas que permitem uma aproximação mais fidedigna ao estudo das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, este tipo de abordagem é uma mais valia para a avaliação da variabilidade dos parâmetros geo-espaciais, tais como, a heterogeneidade litológica, as características geológico-estruturais e geotécnicas dum determinado maciço fracturado. Desta forma, a combinação de estudos geológicos, hidrogeológicos e hidrobiológicos é uma forma consistente para uma melhor compreensão de áreas urbanas regionais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e de fundos do FEDER através do projecto de I&D GROUNDURBAN (POCTI/CTE-GIN/59081/2004). Um agradecimento especial ao Eng^o Guilherme Fontes (Águas do Porto, EM) e ao Sr. J. Pacheco (Águas do Porto, EM), pelo apoio à concretização deste projecto.

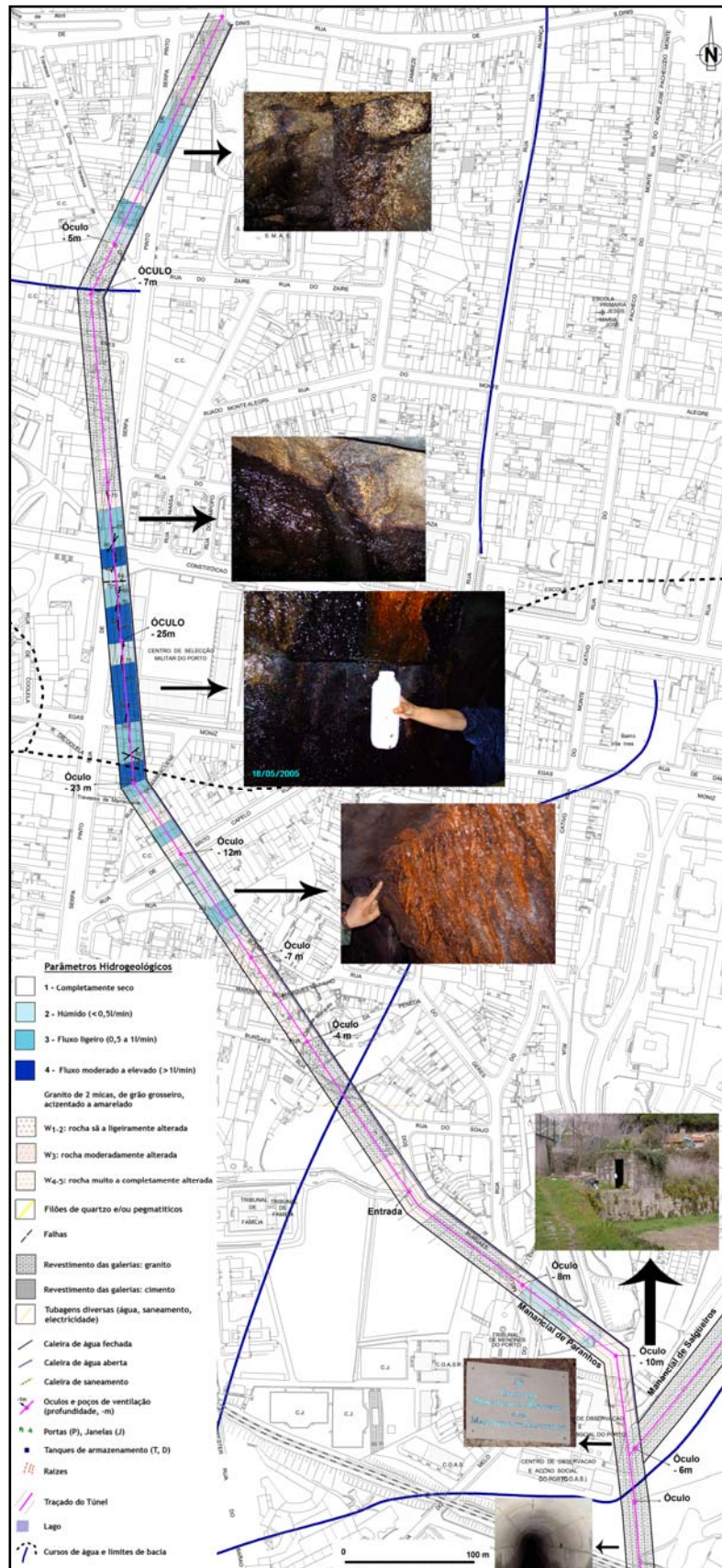
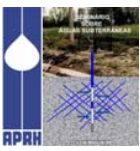
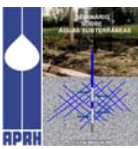


Figura 3 Cartografia geológica e hidrogeológica de uma das galerias de Paranhos (sector Túnel Rua S. Dinis — Rua dos Burgães).



BIBLIOGRAFIA

- AFONSO, M.J. - *Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1997. (Tese de mestrado).
- AFONSO, M.J. - "Hidrogeologia de rochas graníticas da região do Porto (NW de Portugal)". *Cadernos Laboratório Xeolóxico de Laxe*, Coruña, **28**, 2003, pp. 173-192.
- 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. - "Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos". *Xeográfica, Revista de Xeografía, Territorio e Medio Ambiente*, Univ. de Santiago de Compostela, **4**, 2004, pp. 101-115.
- AFONSO, M.J.; CHAMINÉ, H.I.; GOMES, A.; FONSECA, P.E.; MARQUES, J.M.; GUIMARÃES, L.; GUILHERMINO, L.; TEIXEIRA, J.; MARTINS CARVALHO, J.; ROCHA, F.T. - Urban hydrogeomorphology and geology of the Porto Metropolitan Area (NW Portugal). *Pre-Congress Proceedings, The 10th IAEG International Congress - Engineering geology for tomorrow's cities*, Nottingham, U.K. The Geological Society of London, 2006, 1-9 pp. (CD-Rom)
- ALMEIDA, A. - 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, 2001, pp. 311-315.
- AMORIM, A.A.; PINTO, J.N. - *Porto d'Agoa*. Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto, 2001.
- ARAÚJO, M.A.; GOMES, A.; CHAMINÉ, H.I.; FONSECA, P.E.; GAMA PEREIRA, L.C.; PINTO DE JESUS, A. - "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**, 2003, pp. 79-105.
- ASSAAD, F.A.; LAMOREAUX, P.E.; HUGHES, T.H.; WANGFANG, Z.; JORDAN, H. - *Field methods for geologists and hydrogeologists*. Springer-Verlag, 2004.
- ASTM (American Society for Testing and Materials) - *Standard practice for conducting acute toxicity tests with fishes, macroinvertebrates and amphibians*. Report E - 790-80. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1980.
- AURELI, A. - "What's ahead in UNESCO's International Hydrological Programme (IHP VI 2002-2007)". *Hydrogeology Journal*, **10**, 2002, pp. 349-350.
- BARATA, J.M.P. - *Contribuição para o estudo das rochas do Porto*. Faculdade de Philosophia Natural. Coimbra, 1910.
- BEGONHA, A.; SEQUEIRA BRAGA, M.A. - A meteorização do granito do Porto. In F.S. Borges & M. Marques (eds.), Resumos alargados do IV Congresso Nacional de Geologia. *Memórias Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, **4**, 1995, pp. 171-175.
- BEGONHA, A. - *Meteorização do granito e deterioração da pedra em monumentos e edifícios da cidade do Porto*. Coleção monografias, FEUP Edições, Porto, 2001.
- BOURBON E NORONHA, T. - *As águas do Porto*. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Occidental, Porto, 1885.
- CARRINGTON DA COSTA, J. - "O Pôrto: geografia-geologia". *Nova Monografia do Porto*, 1938, pp. 3-32.
- CARRINGTON DA COSTA, J. - A geologia da região portuense e os seus problemas. *Boletim Academia Ciências Lisboa*, **30**, 1958, pp. 36-58.
- CARTEADO MENA, J. - *Contribuição para o estudo da Hygiene do Porto: analyse sanitaria do seu abastecimento em água potável. III. Estudo sobre os poços do Porto*. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Encyclopedia Portuguesa, Porto, 1908.
- CARVALHO, J.M. - *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas*. Universidade de Aveiro, 2006. (Tese de Doutoramento).



- CARVALHO, J.M.; CHAMINÉ, H.I.; PLASENCIA, N. - "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 Coteló Neiva, Imprensa da Universidade, Série Investigação, Coimbra, 2, 2003, pp. 245-264.
- CHAMINÉ, H.I. - *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas*. Universidade do Porto, 2000. (Tese de doutoramento).
- CHAMINÉ, H.I.; GAMA PEREIRA, L.C.; FONSECA, P.E.; NORONHA, F.; LEMOS DE SOUSA, M.J. - "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 Xeolóxico de Laxe*, A Coruña, **28**, 2003, pp. 37-78.
- CHILTON, J. (ed.) - *Groundwater in the urban environment: selected city profiles*. A. A. Balkema, 1997.
- CHILTON, J. (ed.) - *Groundwater in the urban environment: problems, process and management*. A. A. Balkema, 1999.
- FERREIRA DA SILVA, A.J. - *Contribuições para a higiene da cidade do Porto*. Typ. António José da Silva Teixeira, Porto, 1889.
- FONTES, A. - *Contribuição para a Higiene do Porto: Analyse sanitaria do seu abastecimento em água potável. I. Estudo dos Mananciais de Paranhos e Salgueiros*. Dissertação inaugural apresentada à Escola Médico-Cirúrgica do Porto. Typ. Encyclopedia Portuguesa, Porto, 1908.
- FOSTER, S. - "Groundwater quality concerns in rapidly-developing cities", in: *J.H. Guswa (ed.), Hydrology and hydrogeology of urban and urbanizing areas*. American Institute of Hydrology, St. Paul, 1996, pp. MIU12-MIU26.
- GAJ, F.; GUGLIELMETTI, V.; GRASSO, P.; GIACOMIN, G. - "Experience on Porto: EPB follow-up". *Tunnels & Tunnelling International*, 2003, pp. 15-18.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics) - Basic geotechnical description of rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, **18**, 1981, pp. 85-110.
- ISRM (International Society of Rock Mechanics) - Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, **15 (6)**, 1978, pp. 319-368.
- LEGGET, R.F. - *Cities and geology*. McGraw-Hill, New York, 1973.
- LERNER, D. (ed.) - *Urban groundwater pollution*. A. A. Balkema, 2004.
- PEREIRA, E.; RIBEIRO, A.; CARVALHO, G.S.; NORONHA, F.; FERREIRA, N.; MONTEIRO, J.H. - *Carta Geológica de Portugal, escala 1/200.000. Folha 1*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1989.
- RIBEIRO, A.; QUESADA, C.; DALLMEYER, R.D. - "Geodynamic evolution of the Iberian Massif", in: *R.D. Dallmeyer & E. Martínez-García (eds.) Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 1990, pp. 397-410.
- ROSAS DA SILVA, D.J. - *Granitos do Porto*. Provas de Agregação, Porto, 1936.
- SHARPE, D. - "On the Geology of the neighbourhood of Oporto, including the Silurian coal and slates of Vallongo". *Quart. Journ. Geol. Soc. London Proceedings*, **5**, 1849, pp. 142-153.
- SMAS – Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento do Porto - *Mananciais de Paranhos e Salgueiros: situação e distribuição em relação à actual urbanização*. SMAS, Porto, 1961. (Relatório inédito).
- STRUCKMEIER, W.F.; MARGAT, J. - "Hydrogeological maps: a guide and a standard legend". *International Association of Hydrogeologists*, Hannover, 17, 1995, pp. 1-177.

Afonso M. J., Chaminé H. I., Carvalho J. M., Marques J. M., Carreira P. M., Guimarães L., Guilhermino L., Fonseca P. E., Gomes A., Fonseca M., Pires A., Rocha F. T., 2007. Uma abordagem geoambiental no estudo dos subterrâneos da cidade do Porto: o caso do manancial de Paranhos. In: Seminário sobre Águas Subterrâneas, LNEC, 1-2 de Março de 2007. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, APRH, Lisboa. 10 pp. (CD-Rom)