

LUCIANO LOURENÇO  
(COORDS.)

IMPRESA DA  
UNIVERSIDADE  
DE COIMBRA  
COIMBRA  
UNIVERSITY  
PRESS

# GEOGRAFIA, PAISAGEM E RISCOS

LIVRO DE HOMENAGEM AO  
PROF. DOUTOR ANTÓNIO PEDROSA



**OS INVENTÁRIOS DE RECURSOS HÍDRICOS  
SUBTERRÂNEOS COMO SUPORTE DE POLÍTICAS  
DE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO  
GROUNDWATER RESOURCES INVENTORY AS A  
SUPPORT TO LAND-USE PLANNING POLICIES**

**Élio Silva**

Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
epqsilva@gmail.com

**Rui Gomes**

Câmara Municipal de Castelo de Paiva  
rui.flupgeo@gmail.com

**Alberto Gomes**

Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
albgomes@gmail.com

**José Teixeira**

Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto  
jose.aa.teixeira@gmail.com

**Sumário:** A Diretiva 2000/60/CE, o Decreto-Lei n.º 208/2008 e o Decreto-Lei 130/2012 visam a salvaguarda e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, tendo por base a sua preservação, conservação e gestão eficiente. Através de uma abordagem hidrogeomorfológica, apresentam-se os resultados de um inventário de recursos hídricos subterrâneos, na bacia intermédia do Rio Uíma (Santa Maria da Feira) e na bacia da Ribeira de Sá e uma secção do Rio Sardoura (Castelo de Paiva). O desenvolvimento de uma ficha de inventário foi essencial na colheita de dados, permitindo a localização e interpretação da distribuição das 416 nascentes identificadas nas duas áreas de estudo.

Finalmente, a metodologia aplicada, tanto em campo como em gabinete revelou a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos a nível municipal como contributo para a melhoria do ordenamento do território, seja na definição de políticas municipais relativas aos recursos hídricos subterrâneos como em situações de escassez na disponibilidade de água para abastecimento ou para a irrigação.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos subterrâneos, inventário, ordenamento do território, SIG.

**Abstract:** The Directive 2000/60/EC, the Portuguese Decree-Law nº 208/2008, and the Portuguese Decree-Law nº 130/2012, intend to safeguard and protect groundwater resources, based on their preservation, conservation and efficient management. Through a hidrogeomorphological approach, we present the results of a groundwater resources inventory in the middle basin of the Uíma River (Santa Maria da Feira) and in the basin of the Sá River, and a section of Sardoura River (Castelo de Paiva). The development of an inventory form was essential to interpret the distribution and location of 416 springs identified on the two study areas.

Finally, the methodology applied both in the field and in the office revealed the importance of inventory and knowledge of groundwater resources at a municipal level in order to contribute to the improvement of spatial planning in case of municipal policies for groundwater resources or crisis related with droughts.

**Keywords:** Groundwater resources, inventory, land-use planning, GIS.

## Introdução

Nas últimas décadas, a União Europeia e Portugal, produziram e implementaram diversa legislação relativa aos recursos hídricos subterrâneos, tendo por base a sua preservação, conservação e gestão eficiente.

A Diretiva 2000/60/CE estabelece orientações para que cada Estado-Membro proteja, melhore e reconstitua as massas de água subterrâneas, evitando e limitando as descargas de poluentes (sólidos, líquidos e gasosos), de modo a obter uma boa qualidade das águas subterrâneas. No entanto, poucos benefícios económicos da exploração dos recursos hídricos são reinvestidos na gestão das águas subterrâneas, não aliviando as preocupações existentes sobre a degradação dos aquíferos e a sua sustentabilidade (Foster *et al.*, 2003). Desta forma, são necessários investimentos para a proteção da qualidade destes recursos, incluindo disposições institucionais adequadas de gestão no lado da procura, e de valorização e controle de potenciais contaminações, no lado da oferta (Foster *et al.*, 2003).

No contexto português, o Decreto-Lei n.º 208/2008 aponta para a adoção de medidas de prevenção e controlo da poluição da água subterrânea, incluindo critérios para a avaliação do seu bom estado químico, para a identificação de tendências significativas e persistentes, para o aumento da concentração de poluentes, bem como para a definição de pontos de partida para a inversão dessas tendências. Por sua vez, o Decreto-Lei 130/2012 aponta, no artigo 8º “[...] para a necessidade de promover a proteção e o planeamento das águas, através da elaboração e execução do plano nacional da água, dos planos de gestão de bacia hidrográfica e dos planos específicos de gestão de águas, e assegurar a sua revisão periódica”. Apesar de toda a legislação implementada, esta ainda não é capaz de solucionar diversas lacunas, no âmbito dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente a nível municipal.

De forma a colmatar algumas lacunas, os estudos sobre águas subterrâneas são fulcrais para o conhecimento das dinâmicas ocorridas num determinado aquífero (Carvalho, 2006). Neste seguimento, qualquer estudo hidrogeológico deve iniciar-se pela inventariação dos pontos de água, constituindo o inventário,

o ponto partida mais adequado para os estudos de carácter hidrogeológico, permitindo assim, de uma forma económica e eficaz, recolher informações sobre a hidrogeologia de uma área (Pulido, 1978; Custodio *et al.*, 1996; Moore, 2002; Friedel, 2005; Carvalho, 2006).

Neste contexto, a utilidade de inventários de emergências e modelação de fluxos da água subterrânea constituem metodologias importantes de suporte à gestão e ordenamento do território, tanto a nível regional, como municipal (Carvalho, 2006; Carneiro *et al.*, 2010; Freitas, 2010; Teixeira, 2011; Gomes, 2014; Silva, 2015; Silva *et al.*, 2015).

O estudo que se apresenta corresponde a uma abordagem multidisciplinar sobre o tema das águas subterrâneas centrado nas nascentes. O objetivo principal visou a criação de um inventário detalhado das emergências da água, de modo a obter e interpretar padrões de distribuição das águas subterrâneas, em duas áreas distintas. A primeira área corresponde a um setor da bacia hidrográfica do Rio Uíma (Santa Maria da Feira) e a segunda abrange o território da bacia hidrográfica da Ribeira de Sá e parte terminal do Rio Sardoura (Castelo de Paiva). De modo a identificar, caracterizar e medir os parâmetros físico-químicos dos recursos hídricos subterrâneos produziu-se, em gabinete, uma ficha-inventário com aspetos hidrogeológicos, geomorfológicos e hidroclimatológicos, que serviu de apoio à realização do trabalho de campo e à colheita de dados sobre as nascentes inventariadas.

## **Materiais e métodos**

A metodologia seguida consistiu, numa primeira fase (fig. 1), na pesquisa e recolha de dados bibliográficos e documentais relativos ao tema das águas subterrâneas para as duas áreas consideradas, bem como na análise de cartografia militar da década de 1940, 1970, 1990 e 2000, isto, para a identificação dos elementos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos cartografados.

Decorrente da análise das cartas militares, foram vetorizados todos os pontos indicadores de água subterrânea nas áreas de estudo, *i.e.*, nascentes, poços, chafarizes/fontes, poços com engenho e tanques. Paralelamente,

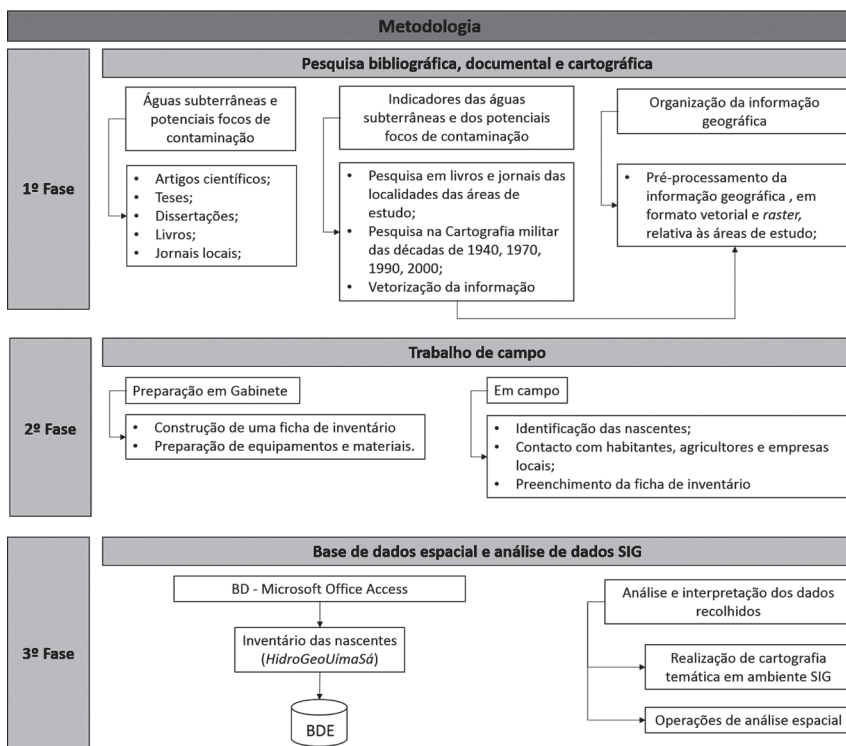
realizou-se o pré-processamento de diversa informação *raster* e vetorial importante para as duas áreas.

Numa segunda fase, criou-se uma ficha-inventário para o registo das nascentes, abrangendo dados sobre a localização, tipo de emergência da água, utilização, geomorfologia, hidrogeologia e hidroclimatologia.

Durante o trabalho de campo, percorreu-se os territórios das áreas de estudo, contactando com habitantes, especialmente os agricultores, permitindo a identificação de diversas nascentes que não constavam na documentação analisada em gabinete, e o preenchimento das fichas de inventário, assim como a recolha de um conjunto de dados relativos às nascentes.

Por último, foi criada uma BDE no software Arcgis – ArcCatalog 10.2 da ESRI, denominada *HidroGeoUímaSá*, na qual se procedeu ao armazenamento e organização da informação recolhida sobre as nascentes, decorrente da análise bibliográfica/documental e do levantamento de campo (fig. 1). Seguiu-se a análise dos dados recolhidos, o cruzamento com outros parâmetros, designadamente, geologia, uso do solo, declives e exposições, e a elaboração de cartografia temática em ambiente SIG, o que possibilitou uma leitura mais espacial dos dados recolhidos.

A ficha-inventário sobre os recursos hídricos subterrâneos (fig. 2) foi elaborada com base nos trabalhos de Carvalho (2006), Freitas (2010), Teixeira (2011), Gomes (2014) e Silva (2015), tendo sido adaptada para as duas áreas em apreço. Nesta ficha-inventário foram registadas as seguintes informações: localização, condições de acesso, enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático, hidrotoponímia, geomorfologia, topografia e utilização/uso dos recursos hídricos subterrâneos (consumo humano, uso agrícola...). Ainda neste documento, sintetizaram-se informações relativas às características da água, sobretudo, a cor, o cheiro e a medição do caudal (L/h), assim como a medição de parâmetros físico-químicos como a condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e o pH. Relativamente a componente climática, incluiu-se a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a humidade relativa (%). Adicionaram-se também informações geológicas relativas ao contexto litológico e tectónico em que cada nascente se insere.



**Fig. 1** - Esquema metodológico seguido neste estudo de águas subterrâneas (adaptado de Gomes, 2014; Silva, 2015).

*Fig. 1 - Methodological framework followed in this groundwater study (adapted from Gomes, 2014; Silva, 2015).*

No terreno, a ficha-inventário foi usada nas inúmeras deslocações pelas áreas de estudo, tendo-se procedido aos registos dos dados recolhidos *in situ* seguindo a recomendação de Carvalho (2006).

O trabalho de campo foi realizado em dois anos distintos, na primeira área de estudo – bacia do Uíma, este decorreu entre Janeiro e Abril de 2015 e na segunda área – bacia de Sá-Sardoura, entre Janeiro e Março de 2014. Ao longo do trabalho de campo foram anotadas informações relativas à identificação e localização de cada nascente, através do equipamento GPSmap 60CS da Garmin, no sistema de coordenadas latitude e longitude, *datum* WGS84.

FICHA DE INVENTÁRIO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS							
Nº Inventário	<input type="text"/>	Lugar	<input type="text"/>	Freguesia	<input type="text"/>		
Concelho	<input type="text"/>	Nº Carta Militar de Portugal 1/25000	<input type="text"/>	Condições de Acesso	<input type="text"/>		
Nome da Estrutura	<input type="text"/>		Morada da Estrutura	<input type="text"/>			
Construção Recente	<input type="checkbox"/>	Construção Antiga	<input type="checkbox"/>	Proprietário	<input type="text"/>		
				Data da Estrutura	<input type="text"/>		
Coordenadas Geográficas (WGS84)	Lat	<input type="text"/>	N	Long	<input type="text"/>		
				W	<input type="text"/>		
				Cota (m)	<input type="text"/>		
Carta Geológica	Planta de Localização		Fotografia				
<input type="text"/>	<input type="text"/>		<input type="text"/>				
<b>CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA</b>							
A água emerge através:	Mina	<input type="checkbox"/>	Solo	<input type="checkbox"/>	Rocha	<input type="checkbox"/>	
					Área Alagada	<input type="checkbox"/>	
Uma Nascente	<input type="checkbox"/>	Um grupo de Nascentes	<input type="checkbox"/>	Nascente Permanente	<input type="checkbox"/>	Nascente Temporária	<input type="checkbox"/>
<b>GEOMORFOLOGIA</b>							
Planalto	<input type="checkbox"/>	Encosta	<input type="checkbox"/>	Vale	<input type="checkbox"/>		
<b>ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO E HIDROCLIMÁTICO</b>							
Nº Carta Geológica	<input type="text"/>	Bacia Hidrográfica	<input type="text"/>	Tectónica	<input type="text"/>		
Unidade hidrogeológica local ou regional	<input type="text"/>						
Litologia	<input type="text"/>						
Data	<input type="text"/>	Hora	<input type="text"/>	Cheiro	<input type="text"/>		
				Cor	<input type="text"/>		
				Turbidez	<input type="text"/>		
Caudal (L/H)	<input type="text"/>	Medição	<input type="text"/>	Temperatura da Água (°C)	<input type="text"/>		
				pH	<input type="text"/>		
Condutividade Elétrica(uS/cm)	<input type="text"/>	Temperatura do Ar (°C)	<input type="text"/>	Humidade Relativa (%)	<input type="text"/>		
<b>OUTRAS OBSERVAÇÕES</b>							
Plantas	<input type="checkbox"/>	Animais	<input type="checkbox"/>	Algas	<input type="checkbox"/>		
		Incrustações	<input type="checkbox"/>	Estado da Água	<input type="text"/>		
<b>UTILIZAÇÃO</b>							
Consumo Humano	<input type="checkbox"/>	Consumo Animal	<input type="checkbox"/>	Uso Agrícola	<input type="checkbox"/>		
				Uso Industrial	<input type="checkbox"/>		
				Balneoterapia	<input type="checkbox"/>		
				Sem uso	<input type="checkbox"/>		
Lavandouro Público	<input type="checkbox"/>	Fontanário	<input type="checkbox"/>				
Observações	<input type="text"/>						
Preenchido por	<input type="text"/>	Verificado por	<input type="text"/>	Data verificação	<input type="text"/>		

**Fig. 2** - Exemplo da ficha de inventário utilizada durante o trabalho de campo (Fonte: Silva, 2015).

*Fig. 2 - Example of the inventory datasheet used during the fieldwork (Source: Silva, 2015).*



Relativamente ao caudal debitado por cada emergência, este foi registado e quantificado através do cálculo de uma média das várias medições.

Para medir o caudal, em cada nascente, foi utilizado (em função do volume de caudal debitado), um recipiente de ½ litro, 1 litro ou de 5 litros. Os resultados finais foram apresentados em L/s (litros por segundo). Posteriormente, de forma a uniformizar os resultados, mas também para uma melhor compreensão dos valores, converteu-se os valores de L/s para L/h (litros por hora). De modo a obter informações relativas aos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica e temperatura da água), utilizou-se, diretamente no local de emergência de águas subterrâneas, um medidor portátil da marca Hanna, modelo HI 98129.

## Enquadramento das áreas de estudo

As áreas de estudo localizam-se no Norte de Portugal, em duas sub-bacias de afluentes da margem esquerda do Rio Douro, localizadas na parte terminal da sua bacia hidrográfica.

A primeira área de estudo foca-se na área intermédia da bacia hidrográfica do Rio Uíma inserida no concelho de Santa Maria da Feira e abrange parte das freguesias de São João de Ver, União das freguesias das Caldas de São Jorge e Pigeiros, Lourosa, Fiães, União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande, Argoncilhe, Sanguedo, Mozelos e União de freguesias de Canedo, Vale e Vila Maior (fig. 3-C). Relativamente à hipsometria, esta área abrange locais com cotas superiores a 300m (e.g. 304m em Souto Redondo) e locais com cotas próximas dos 100m. Deste modo, a área de estudo apresenta uma altitude média de 200m e uma área aproximada de 25km<sup>2</sup>.

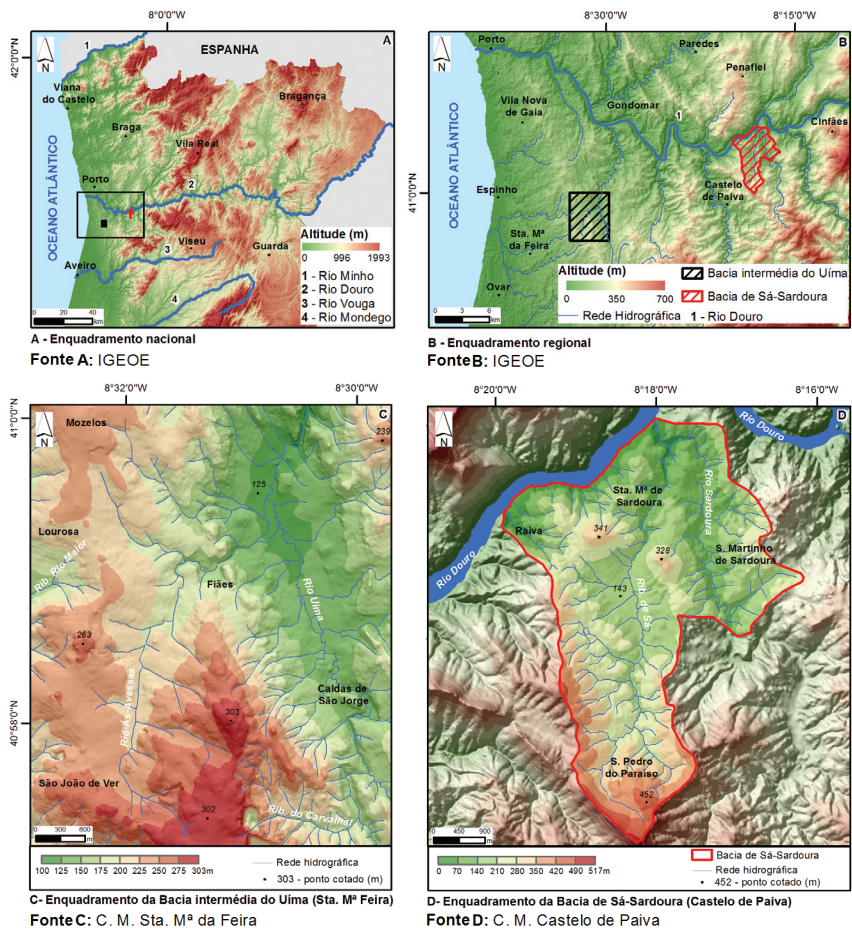
A segunda área de estudo centra-se na bacia hidrográfica da ribeira de Sá-Sardoura, no concelho de Castelo de Paiva e abrange uma área de 18,68 Km<sup>2</sup> (fig. 3-D). Esta compreende parte das freguesias de Santa Maria de Sardoura, São Martinho de Sardoura, Real, União das freguesias

de Raiva, Pedorido e Paraíso e União das freguesias Sobrado e Bairros. Topograficamente, o relevo da bacia hidrográfica da ribeira de Sá é marcado pelo alinhamento orográfico mais setentrional do concelho, no qual se incluem as elevações, como o Alto de S. Paúl (360m) e o Alto de S. Gens (328m).

Relativamente ao contexto morfo-estrutural, as áreas de estudo abrangem terrenos do Maciço Hespérico, sendo este caracterizado por uma rede significativa de acidentes tectónicos, que se encontram, geralmente, subordinados aos sistemas de fraturação NNE-SSW a ENE-WSW e NW-SE a NNW-SSE, estando na base das atuais linhas de água (Afonso *et al.*, 2004; Carvalho, 2006).

Em termos geológicos, a primeira área de estudo localiza-se no limite da Zona Ossa-Morena com a Zona Centro Ibérica, sendo atravessada pela faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar, enquanto a segunda abrange apenas terrenos da Zona Centro Ibérica (Ribeiro *et al.*, 1979; Chaminé, 2000). Relativamente à litologia das áreas de estudo, a composição é diversificada, destacando-se as rochas metassedimentares (micaxistos, metagrauvaques, migmatitos, gnaisses, quartzitos, xistos, corneanas, conglomerados), as rochas ígneas (granito de grão médio a grosseiro, de duas micas; granito porfiroide, de grão grosseiro e granitos gnaissicos e ortognaisses), as rochas sedimentares (aluvões) e as rochas filonianas (anfíbolito, pegmatito, quartzo) (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2005; Teixeira, 2006; Gomes, 2008).

As duas áreas de estudo, em termos climáticos encontram-se nas áreas da fachada Atlântica que possuem um clima mediterrânico de feições marítimas, de acordo com o quadro provisório das regiões climáticas de Portugal, definido por Daveau (1985). Contudo, na segunda área de estudo, junto do vale encaixado do Rio Douro insinuam-se características de feição continental (Daveau, 1985). Em ambas as áreas, a distribuição da precipitação está relacionada com a disposição orográfica e varia entre 1400 a 1800mm, na primeira área e entre 1000 a 1600mm na segunda área (Daveau, 1985).



**Fig. 3 - Enquadramento hipsométrico das áreas de estudo.**

*Fig. 3 - Hypsometry of the study areas.*

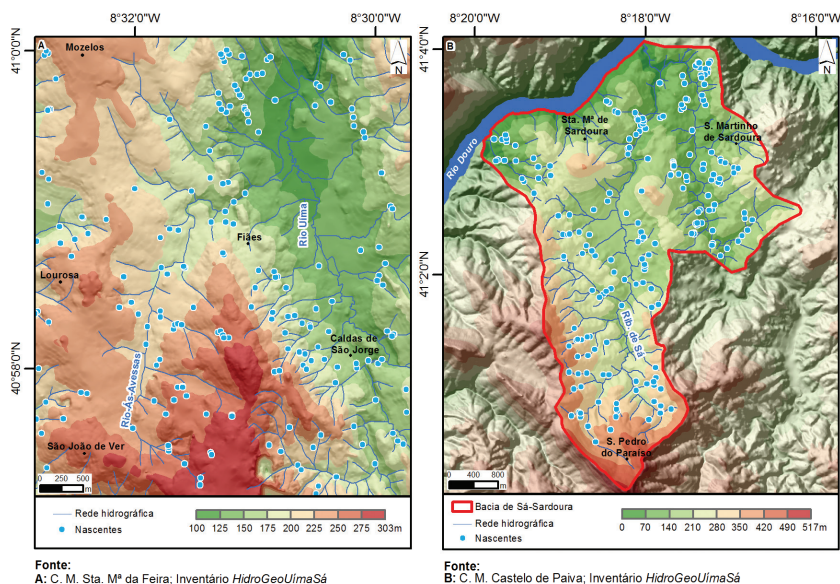
## Resultados

Os resultados provenientes dos inventários comprovaram a existência de 416 nascentes distribuídas heterogeneamente nas áreas de estudo. Contudo, 210 nascentes estavam localizadas na primeira área de estudo (fig. 4-A) e 206 na segunda área (fig. 4-B).

A informação relativa à hipsometria das áreas de estudo foi classificada em 8 classes, sendo que na primeira área os intervalos eram de 25m e na segunda área de 70m.

Com a análise da fig. 4-A e do gráfico 1, verificou-se a presença de dois grupos de classes. O primeiro grupo recai nas classes 150 a 175m, 175 a 200m e 200 a 225m, enquanto o segundo grupo nas classes 100 a 125m e 275m. De tal modo, 138 das nascentes estão localizadas no primeiro grupo de classes e 7 nascentes estão circunscritas no segundo grupo de classes.

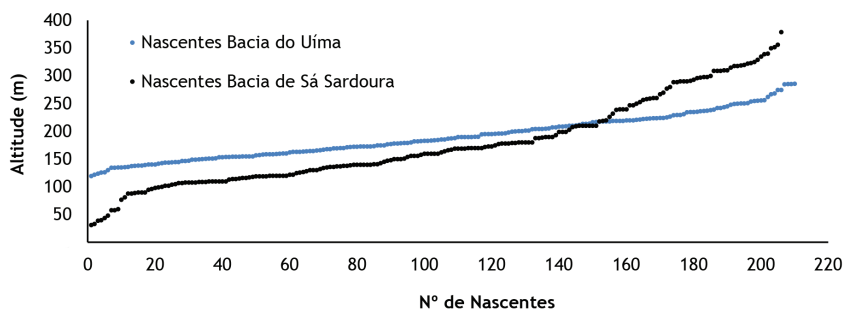
Relativamente a fig. 4-B e fig. 5, constata-se que um número significativo de nascentes, 142, situa-se no intervalo de 70 a 140m e de 140 a 210m. No intervalo de 210 a 280m e nas classes entre 280 e 350m, a localização das nascentes é relativamente uniforme, 22 e 30 nascentes respetivamente.



**Fig. 4** - Localização das nascentes: Bacia Intermédia do Uíma (A); Bacia de Sá-Sardoura (B).  
*Fig. 4* - Location of springs: Uíma basin (A); Sá-Sardoura basin (B).

Com a análise das duas áreas de estudo e através da fig. 5 conclui-se que a localização das nascentes, na primeira área tende a surgir nas cotas de 100 a 175m e na segunda área nas cotas de 70 a 180m. Para além deste facto, também

se verifica que estas se localizam nas proximidades de linhas de água e em torno do fundo do vale do rio Uíma e da ribeira de Sá. Outro assunto a ser discutido acerca da fig. 5 corresponde essencialmente às nascentes que se localizam nos topos e nas cotas mais baixas. A baixa ocorrência de nascentes nos topos está relacionada essencialmente, pelo facto destas áreas serem predominantemente áreas de infiltração e a água infiltrada, após o circuito subterrâneo, emergir a cotas mais baixas. Porém, a baixa ocorrência de nascentes a cotas próximas do fundo de vale pode estar relacionada com o substrato rochoso ou contactos geológicos em que cada nascente está inserida.



**Fig. 5** - Dispersão das nascentes inventariadas por altitude.

*Fig. 5 - Dispersion of the inventoried springs by altitude.*

## Caudais

Relativamente ao caudal das nascentes na primeira área de estudo, das 210 nascentes inventariadas, apenas em 100 nascentes se reuniram boas condições para medir o caudal, enquanto na segunda área, das 206 nascentes, só em 107 nascentes houve condições para tal. Das medições efetuadas, apurou-se que os caudais variavam entre 5,6 L/hora a 8571,4 L/hora, na primeira área e entre 104,4 L/hora a 9000 L/hora, na segunda área.

De modo a representar e comparar os dados relativos ao caudal da água organizou-se os valores em três classes (fig. 6-A). Na bacia do Uíma, a primeira

classe abrange caudais de 5,6 L/hora a 2500 L/hora, a segunda classe, caudais superiores a 2500 L/hora até 5000 L/hora, e a terceira classe com caudais superiores a 5000 L/hora até 8571,4 L/hora, enquanto na segunda área a primeira classe abrange caudais de 104,4 L/hora a 2500 L/hora, a segunda classe considera caudais superiores a 2500 L/hora até 5000 L/hora e a terceira classe, valores superiores a 5000 L/hora até 9000 L/hora. Em termos globais, os valores de caudal são diferentes em relação aos valores menores, mais volumosos no setor de Castelo de Paiva, enquanto o limite superior é semelhante nas duas áreas estudadas.

Na primeira área verificou-se que 86 nascentes apresentam valores de caudal mais reduzidos, inserindo-se assim na primeira classe. Na segunda classe incluem-se os caudais de 13 nascentes e por fim na terceira classe insere-se 1 nascente. Relativamente à segunda área a maioria das nascentes, 76 apresentavam um caudal mais reduzido, cujos valores se inserem na primeira classe. Na classe intermédia incluem-se os caudais de 24 nascentes e na classe com valores superiores a 5000 L/hora, inserem-se 7 nascentes (fig. 6-B).

Observando as figuras 6-C e 6-D, que explanam a distribuição dos valores do caudal das nascentes através de uma interpolação, verifica-se que a maioria destas áreas apresentam caudais inferiores a 2500 L/hora. Relativamente à distribuição dos caudais superiores a 2500 a 5000 e superiores a 5000 L/hora, estes ocorrem em casos pontuais. No entanto, na primeira área é mais notório este facto. Contudo, os valores inferiores a 2500 L/hora registados nas áreas de estudo, podem ser explicados pela baixa permeabilidade do substrato rochoso, mas também, pelo facto das nascentes das áreas de estudo apontarem para um circuito curto e rápido, implicando que o caudal destas nascentes seja irregular e muito relacionado com as condições meteorológicas de queda de precipitação (Carvalho, 2006).

No que diz respeito à distribuição espacial, na primeira área verifica-se que as nascentes com maior caudal distribuem-se de modo pontual pela área de estudo, mais precisamente junto da povoação das Caldas de São Jorge, Lourosa e Fiães. As nascentes com um caudal intermédio e fraco encontram-se distribuídas também de forma heterogénea pela área. No que diz respeito às

nascentes com fraco caudal, existe uma tendência de concentração, também junto da povoação das Caldas de São Jorge. Em contrapartida, relativamente à segunda área de estudo constata-se um predomínio de nascentes com caudais fracos, junto à povoação de São Martinho de Sardoura, com propensão à sua concentração espacial. Em termos de nascentes que apresentam caudais médios e elevados, estas distribuem-se heterogeneamente pela área de estudo, abrangendo as povoações de São Martinho de Sardoura, Santa Maria de Sardoura, São Pedro do Paraíso e Raiva.

## pH

Relativamente aos registos de pH das nascentes, na primeira área de estudo variaram entre 2.9 e 7.2, e na segunda área entre 4.4 e 7.0. Estes valores apontam essencialmente para a ocorrência de águas com pH ligeiramente ácido. Relativamente aos valores de pH, estes foram apresentados em três classes para as duas áreas de estudo. A primeira apresenta intervalos de 2.9 a 5.0, >5.0 a 6.0 e >6.0 a 7.2 e na segunda área de estudo de 4.4 a 5.0, >5.0 a 6.0 e > 6.0 a 7.0.

Pela fig. 7-A constata-se que 95 nascentes encontram-se na primeira classe, ou seja no pH mais ácido. Na classe dos valores intermédios surgem 82 nascentes e por fim na classe dos valores mais elevados, surgem 22 nascentes. Na fig. 7-B, a maioria das nascentes, 150 enquadram-se na classe em que os valores de pH são intermédios. Na classe de valores mais baixos, encontram-se apenas 4 nascentes. Na classe que indica valores mais elevados, acima de 6.0, situam-se 47 nascentes. Em suma, verifica-se que a primeira área apresenta um maior número de nascentes com pH inferior a 5.0, enquanto a segunda área evidencia um maior número de nascentes com pH superior a 5.0 - 6.0.

As figuras 7-C e 7-D apresentam a interpolação dos dados referentes ao pH nas áreas de estudo. Através da análise destas figuras, verifica-se que domina o pH ligeiramente ácido. No entanto, destacam-se algumas áreas com valores anómalos de pH.

Creemos que estes valores anómalos podem ser explicados pela existência de atividades antrópicas junto das nascentes, o que implicará que o pH destas águas possa ser influenciado diretamente. No entanto, os valores de pH baixos, característicos da área de estudo devem estar associados ao substrato rochoso, visto que este é composto por rochas graníticas e metassedimentares. Este padrão é semelhante ao que ocorre na cidade do Porto, registado por Afonso *et al.* (2007). Ainda referente ao pH e a sua relação com o substrato rochoso, Rogers (2003) afirma que a medição do pH é fundamental em todas as investigações hidrológicas, pelo facto da compreensão do seu comportamento ser determinante para interpretar os processos de contaminação e de interação entre a água e a rocha, constituindo um parâmetro importante em modelação hidrogeológica.

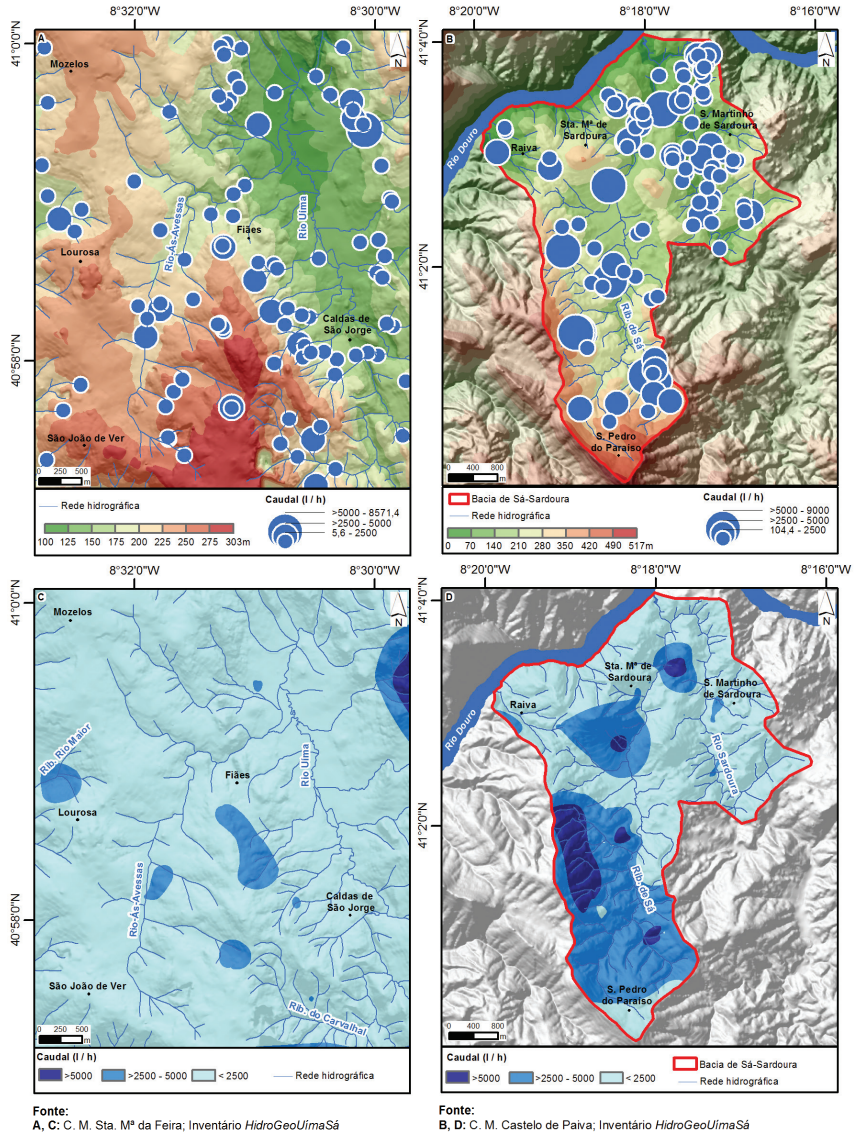
## Condutividade

A condutividade elétrica presente nas nascentes da primeira área de estudo varia entre  $36\mu\text{S}/\text{cm}$  e  $556\mu\text{S}/\text{cm}$  e na segunda área entre  $10\mu\text{S}/\text{cm}$ , e  $1330\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Os valores referentes à condutividade elétrica foram distribuídos por três classes. Na primeira área, a primeira classe corresponde de  $36\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $150\mu\text{S}/\text{cm}$ , a segunda classe de  $150\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $300\mu\text{S}/\text{cm}$  e a terceira classe no intervalo de  $300\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $556\mu\text{S}/\text{cm}$ . Na segunda área, a classe mais baixa condiz com o intervalo  $10\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $150\mu\text{S}/\text{cm}$ , a classe intermédia com valores superiores a  $150\mu\text{S}/\text{cm}$  até  $300\mu\text{S}/\text{cm}$  e a classe mais alta abrange valores superiores a  $300\mu\text{S}/\text{cm}$  até  $1330\mu\text{S}/\text{cm}$ . Analisando a fig. 8-A, averiguou-se que 107 nascentes se enquadravam na classe com os menores valores de condutividade elétrica, 76 encontravam-se na classe intermédia e 5 nascentes situavam-se na classe mais elevada. Na fig. 8-B verificou-se que a maioria das nascentes (157) se enquadravam na classe em que os valores de condutividade elétrica são mais reduzidos. Na classe de valores intermédios, encontra-se representado um conjunto de 33 nascentes. Na classe que indica valores mais elevados ( $>300\mu\text{S}/\text{cm}$ ), situam-se apenas 7 nascentes.



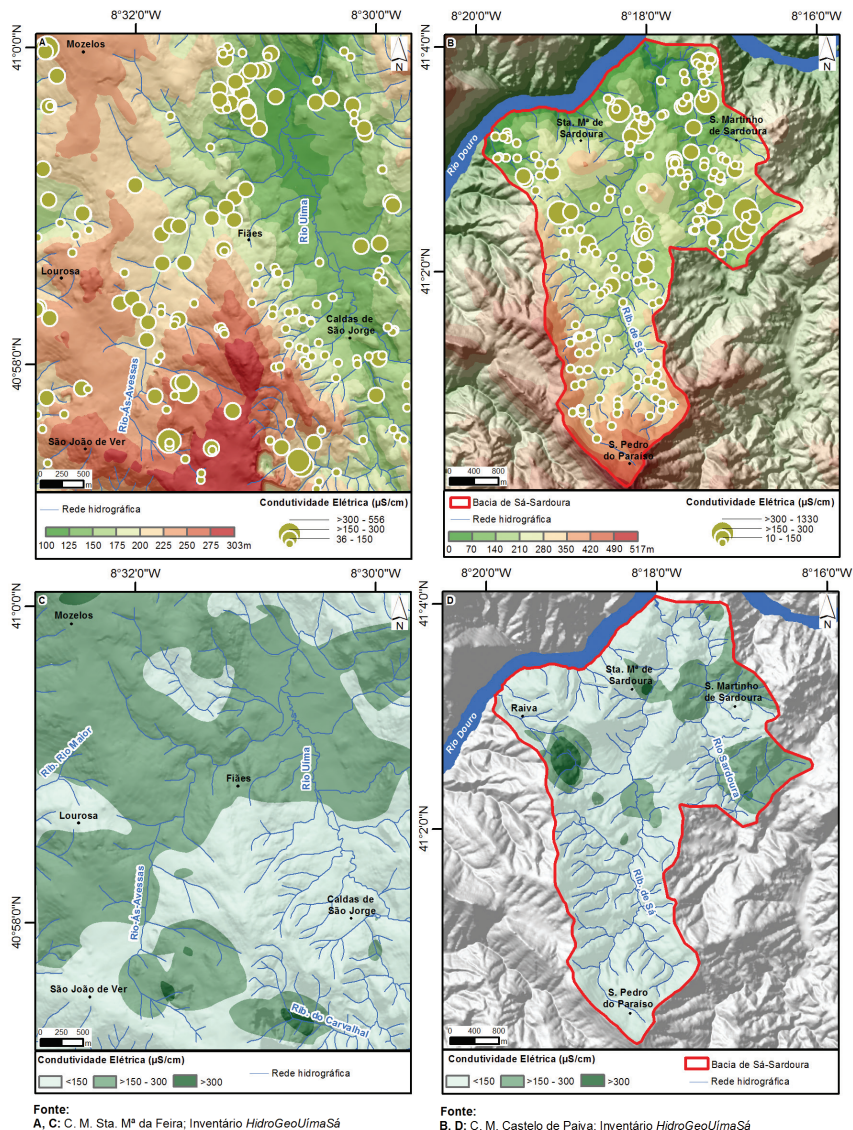
Espacialmente, na primeira área verifica-se que os valores mais fracos de condutividade elétrica ( $36\mu\text{S}/\text{cm}$  a  $150\mu\text{S}/\text{cm}$ ) localizam-se junto da povoação de Caldas de São Jorge. Relativamente às condutividades elétricas intermédias ( $>150\mu\text{S}/\text{cm}$



**Fig. 6** - Caudal das nascentes: litros por horas (A, B) e variação espacial (C, D).

*Fig. 6* - Springs' flow: liters per hour (A, B) and spatial variation (C, D).

a  $300\mu\text{S/cm}$ ) constata-se que estas se concentram em torno da povoação de Fiães. Por fim, relativamente às condutividades elétricas altas, ou seja entre  $>300\mu\text{S/cm}$  a  $556\mu\text{S/cm}$ , estas encontram-se distribuídas heterogeneamente e pontualmente



**Fig. 7** - pH das nascentes (A, B) e sua variação espacial (C, D).

**Fig. 7** - pH of the springs (A, B) and its spatial variation (C, D).

pelo território, destacando-se uma nascente na povoação da Mozelos e quatro nascentes próximas de São João de Ver. Relativamente à segunda área constata-se que os valores mais baixos de condutividade, ou seja  $>150\mu\text{S}/\text{cm}$ , localizam-se junto à povoação de São Pedro do Paraíso. No entanto, o valor de maior condutividade elétrica -  $1330\mu\text{S}/\text{cm}$  - ocorre na povoação de Santa Maria de Sardoura.

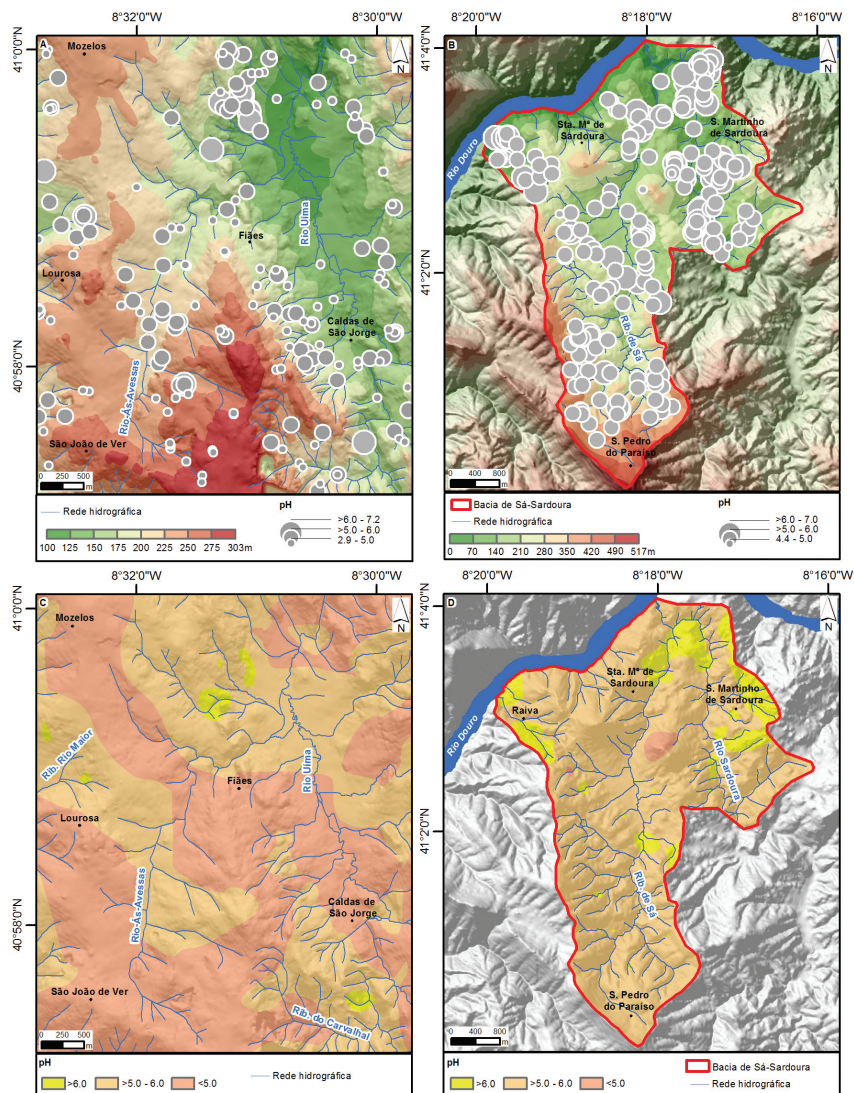
As figuras 8-C e 8-D evidenciam a interpolação dos dados referentes à condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) nas duas áreas de estudo. Através da análise da fig. 8-C, verifica-se que as áreas com valores mais baixos de condutividade elétrica encontram-se em áreas próximas à povoação das Caldas de São Jorge, enquanto os valores mais elevados se localizam perto da povoação de São João de Ver. Na fig. 8-D, constata-se um predomínio de áreas com condutividades elétricas baixas, destacando-se a povoação de São Pedro do Paraíso e Raiva. Relativamente a condutividades altas ( $>300\mu\text{S}/\text{cm}$ ) verificam-se duas áreas junto da povoação de Santa Maria de Sardoura.

Os valores elevados de condutividade elétrica nestas áreas, encontram-se próximos de antigas/atuais pedreiras e antigas explorações mineiras. Desta forma, partindo das ideias veiculadas por Afonso *et al.* (2007), os valores elevados de condutividade elétrica, poderão estar associados a processos de contaminação das águas subterrâneas. Porém, convém referir que também os valores elevados de condutividade elétrica podem estar associados ao tipo de rocha que a água subterrânea atravessa e ao tempo de circulação da água, ou seja, quanto maior o tempo de residência da água subterrânea no substrato até à sua emergência, mais sais dissolvidos poderá incorporar. Na generalidade, as águas subterrâneas com condutividades baixas correspondem essencialmente a circuitos rápidos e curtos, implicando que estas estejam pouco tempo em contacto com o substrato rochoso.

## Temperatura

No que concerne ao parâmetro temperatura da água das nascentes, na primeira área de estudo, variou entre  $9^{\circ}\text{C}$  e  $17,2^{\circ}\text{C}$ , enquanto na segunda entre  $11,6^{\circ}\text{C}$  e  $16,8^{\circ}\text{C}$ .

Como demonstram as figuras 9-A e 9-B, os valores da temperatura da água foram organizados em três classes. Na fig. 9-A a primeira classe correspondeu a temperaturas da água que variavam entre os 9°C e os 13°C,



Fonte: A, C: C. M. Sta. M.ª da Feira, Inventário HidroGeoUlmaSá

Fonte: B, D: C. M. Castelo de Paiva, Inventário HidroGeoUlmaSá

**Fig. 8** - Condutividade elétrica das nascentes (A, B) e sua variação espacial (C, D).

**Fig. 8** - Electrical conductivity of springs (A, B) and its spatial variation (C, D).

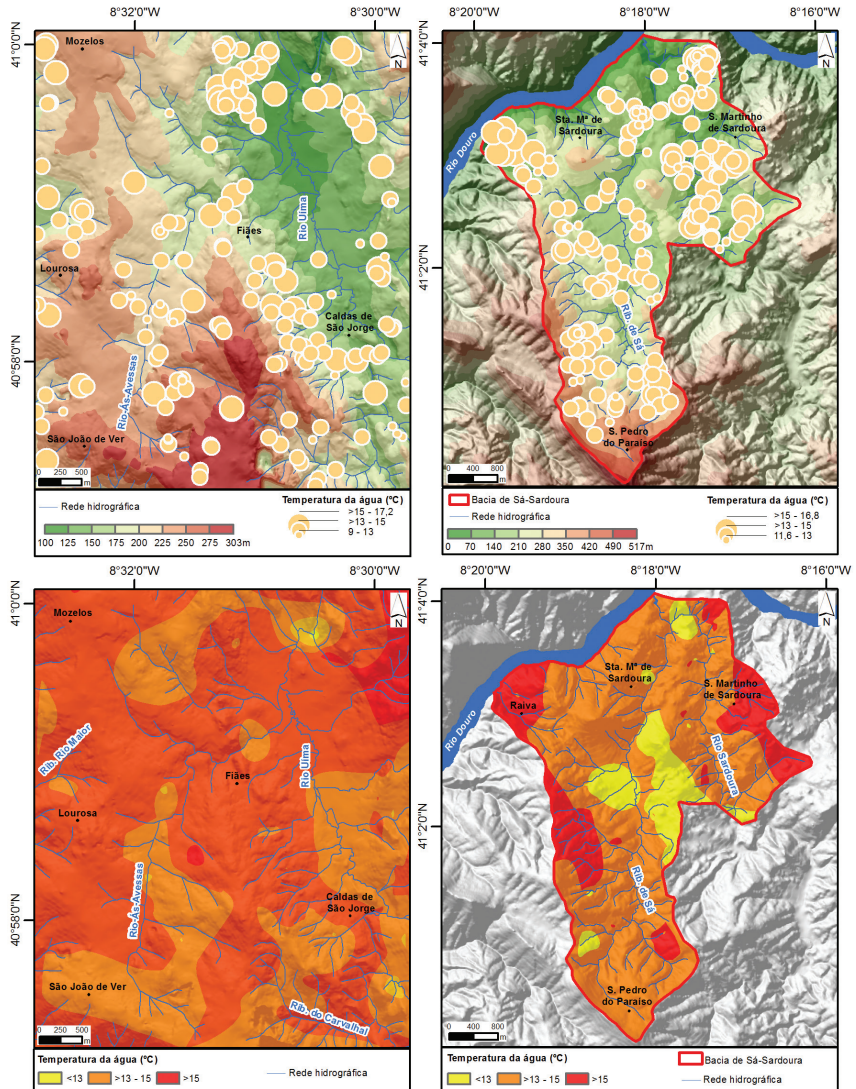
a segunda classe, a temperaturas da água entre valores  $>13^{\circ}\text{C}$  até  $15^{\circ}\text{C}$  e a terceira classe com temperaturas da água que variam entre  $>15^{\circ}\text{C}$  até  $17,2^{\circ}\text{C}$ . Relativamente ao número de nascentes por cada classe verificou-se que 122 nascentes registam valores da classe intermédia, ou seja entre valores  $>13^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ , 43 na classe  $>15^{\circ}\text{C}$  a  $23^{\circ}\text{C}$  e 24 distribuíam-se pela classe dos  $9^{\circ}\text{C}$  a  $13^{\circ}\text{C}$ . Na fig. 9-B, a primeira classe incidiu nas temperaturas da água entre  $11,6^{\circ}\text{C}$  e os  $13^{\circ}\text{C}$ , a segunda classe entre valores  $>13^{\circ}\text{C}$  até  $15^{\circ}\text{C}$  e a terceira classe entre  $>15^{\circ}\text{C}$  a  $16,8^{\circ}\text{C}$ . Através da análise desta figura constata-se que a maioria das nascentes (127) enquadram-se na classe em que as temperaturas variam acima dos  $13^{\circ}\text{C}$  até  $15^{\circ}\text{C}$ ; a classe em que as temperaturas são superiores a  $15^{\circ}\text{C}$ , enquadra 44 nascentes e em 30 nascentes, a temperatura da água varia entre os  $11,6^{\circ}\text{C}$  e  $13^{\circ}\text{C}$ .

Espacialmente, observa-se que as diferentes classes de temperatura da água se distribuem de forma heterogénea pelas duas áreas de estudo. No entanto, na primeira área constata-se que o elevado número de nascentes com temperatura da água superior a  $13$  até  $15^{\circ}\text{C}$ , localiza-se nas povoações de Lourosa, Fiães e São João de Ver. Na povoação das Caldas de São Jorge a temperatura da água situa-se acima dos  $15^{\circ}\text{C}$ . Na segunda área de estudo existe um predomínio pelas diversas povoações de nascentes com temperatura da água acima dos  $13^{\circ}\text{C}$ .

Relativamente às figuras 9-C e 9-D, que apresentam a variação espacial dos dados da temperatura da água das nascentes, constata-se o predomínio de áreas com temperatura da água entre os  $13^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ . No entanto, nas duas áreas de estudo existem pequenas áreas em que a temperatura da água registou valores inferiores a  $13^{\circ}\text{C}$ , destacando-se a povoação de São João de Ver na primeira área de estudo e as povoações de São Martinho de Sardoura e Raiva.

Relativamente à variação que ocorre na temperatura da água das nascentes, esta pode ser explicada, pelo circuito hidráulico subterrâneo ser mais curto ou mais longo, consoante a nascente. Segundo Custodio *et al.* (1996), a grandes profundidades, a temperatura da água é influenciada pelo gradiente geotérmico, aumentando cerca de  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 33m de profundidade.

Desta forma, conclui-se que quanto maior e mais profundo for o circuito, mais elevada será a temperatura e quanto menor e menos profundo for o circuito, menor será o valor da temperatura. Outro facto a referir, para



Fonte:  
A, C: C. M. Sta. Mª da Feira; Inventário HidroGeoUimaSá

Fonte:  
B, D: C. M. Castelo de Paiva; Inventário HidroGeoUimaSá

**Fig. 9** - Temperatura da água das nascentes (A, B) e sua variação espacial (C, D).

*Fig. 9* - Water temperature of the springs (A, B) and its spatial variation (C, D).

explicar o comportamento das nascentes da área de estudo, corresponde à temperatura das águas das nascentes analisadas apresentarem valores de temperatura inferiores a 25°C, levando a que todas elas sejam designadas de hipotermiais, segundo a classificação de Fraústo da Silva *et al.* (1988). Isto indica-nos que, em conjunto com os outros parâmetros analisados, todas as nascentes inventariadas estão associadas a circuitos pouco profundos. No entanto, pode ocorrer ascensão de águas termiais profundas, como o caso das Caldas de São Jorge e de Entre-os-Rios, que apesar de terem um circuito longo, não obedecem a este padrão. Esse facto pode ser explicado pela sua ascensão lenta, implicando que esta tenha tempo para arrefecer e brotar a temperaturas mais baixas, próximas dos 23°C nas Caldas de São Jorge e a 17/18°C em Entre-os-Rios (Teixeira, 2011; Silva, 2015). Outro fator associado à variação da temperatura da água incide na temperatura do ar. Em dias em que a temperatura do ar é mais elevada, a temperatura da água, tendencialmente, acompanha essa variação da temperatura. Quando a temperatura do ar é baixa, a temperatura da água tem tendência para baixar, porém, não atinge valores inferiores à temperatura do ar.

## Conclusão

Os casos de estudo em apreço, que abordam questões relacionadas com águas subterrâneas, revelam-se bastante morosos na colheita de dados rigorosos, e só com uma metodologia bem estruturada se consegue atingir os objetivos inicialmente propostos, ao nível da distribuição do recurso hídrico subterrâneo, com a identificação/localização das nascentes e conseqüente análise e interpretação de padrões, assim como, na formulação de linhas de apoio à tomada de futuras decisões de gestão destes recursos, por parte dos municípios.

Através dos dados obtidos verifica-se que as nascentes, na sua maioria, continuam a ser valorizadas pelas populações, nomeadamente, pelo aproveitamento deste recurso para consumo humano, e pelos agricultores para uso agrícola, com enfoque na rega, conduzindo as águas das nascentes para os campos por regos e levadas.

Relativamente ao parâmetro da condutividade elétrica, os valores obtidos e analisados sugerem nascentes de água com boa qualidade, em termos físicos. Dado que existem ainda um número significativo de nascentes sem qualquer utilização, e dada a importância global da água como um recurso natural fundamental para a sobrevivência das comunidades locais, considera-se que este recurso natural deveria ser valorizado e devidamente aproveitado por parte dos municípios, nomeadamente o de Santa Maria da Feira e de Castelo de Paiva. A análise deste parâmetro, em associação à análise espacial do território da amostra, permitiu identificar quais as áreas mais suscetíveis a contaminações (ou que denotam alguma contaminação) e, deste modo, menos propensas para captação de água subterrânea. As nascentes localizadas no setor montante das bacias, possuem em termos gerais, melhores resultados nos parâmetros físico-químicos analisados, enquanto para jusante os valores vão aumentando. De modo a justificar este facto, pode-se colocar como fator condicionante, a ação antrópica na utilização agrícola dos solos, seja pela administração de fertilizantes ou pelo uso mais intensivo, assim como, por alguns problemas associados à drenagem de águas residuais.

As mudanças climáticas ocorridas ao longo dos últimos anos provaram que as águas superficiais são vulneráveis a problemas relacionados com secas prolongadas, o que leva a uma deterioração da água, bem como a escassez de água para o abastecimento das grandes cidades. Desta forma, justifica-se a importância de um município conhecer com rigor as suas reservas de água subterrânea e onde estas se localizam, de modo a satisfazer rapidamente as populações em caso de rutura de abastecimento de água potável.

Em suma, com este trabalho, pretendeu-se alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, de forma a contribuir para uma valorização, gestão e proteção adequada do recurso, água subterrânea. Através da utilização de diversas ferramentas SIG, foram criados suportes cartográficos e base de dados que apoiassem os processos de decisão, contribuindo assim, para um ordenamento do território à escala municipal capaz de responder aos vários problemas atuais no panorama das águas subterrâneas.



## Referências bibliográficas

- 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*, Univ. de Santiago de Compostela, 4: 101-115.
- Afonso, M. J., Chaminé H. I., Carvalho M. J., Marques M. J., Gomes A., Araújo M. A., Fonseca P. E., Teixeira J. & Rocha F. (2007). Urban groundwater resources: a case study of Porto metropolitan area (Iberian Massif, NW Portugal). In: K. W F Howard (ed). *Urban Groundwater: Meeting the Challenge* (Chapter 20 - Urban Aquifer Management). Selected Papers on Hydrogeology, IAH/Taylor & Francis CRC Press, SP8, pp. 278 - 294.
- Carneiro, J., & Carvalho, J. M. (2010). Groundwater modelling as an urban planning tool: issues raised by a small-scale model. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 157-170.
- Carvalho, J. M. (2006). *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: Linhas metodológicas* (Tese de doutoramento) anexos e carta hidrogeológica. Universidade de Aveiro, 292 pp.
- CE (2000). Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 de Outubro de 2000. Estabelece o Enquadramento para as Acções Comunitárias no Domínio da Política da Água. Jornal Oficial 22 de Dezembro de 2000 L 327/1. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Chaminé, H. I. (2000). Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas, Universidade do Porto.
- Chaminé, H. I. & Gomes A. (2005). Cartografia geológica e geomorfológica para a caracterização de riscos naturais à escala do planeamento regional: aplicação ao concelho de Castelo de Paiva (NW de Portugal). *Xeográfica, Revista de Xeografia, Território e Medio Ambiente*, Santiago de Compostela, nº 5, pp. 86-106.
- Custódio, E & Llamas, M. R. (1996). Hidrologia subterrânea, 2 Vols, 2350 pp. Omega, Barcelona.
- Daveau, S. (1985). Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e Nebulosidade. Contrastes térmicos. *Memórias do Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, nº7, 84 pp.
- DR - DIÁRIO DA REPUBLICA (1998). Decreto-Lei n.º 208/2008 – O presente decreto-lei visa transpor para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- DR - DIÁRIO DA REPUBLICA (2012). Decreto-Lei n.º 130/2012 – O Presente decreto-lei visa fundamentalmente, proceder à adaptação da Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, alterada pelo Decreto -Lei n.º 245/2009, de 22 de setembro, à reestruturação do atual quadro institucional. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Foster, S. S. D. & Chilton, P. J. (2003). Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 358(1440), 1957-1972. Disponível em: doi:10.1098/rstb.2003.
- Fraústio da Silva, J. J., Vaz, M. C. T. A. (1988). Lições de Química-Física Hidrológica. 139 pp. Instituto Português de Hidrologia.
- Freitas, L. F. D. S. (2010). *Análise hidro-histórica das águas subterrâneas do Porto, séculos XIX a XXI: inventário, base de dados e cartografia SIG* (Tese de mestrado). Universidade do Porto.

- Friedel, M. J. (2005). Coupled inverse modeling of vadose zone water, heat, and solute transport model: optimal nonlinear parameter estimation and predictive uncertainty. *In*: Tellman, J. H.; Rivett, M. O.; Israfilov, R., 2006. Urban groundwater management and sustainability. *Nato science series. Series IV, Earth and environmental sciences*. Springer Edt.
- Gomes, A. (2008). *Evolução geomorfológica da plataforma litoral entre Espinho e Águeda* (Tese de doutoramento). Departamento de Geografia, Universidade do Porto.
- Gomes, R. M. M. (2014). *Recursos hídricos subterrâneos: inventário, cartografia SIG, metodologia e potencialidades. Caso de estudo: bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, Castelo de Paiva*. (Tese de mestrado). Apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Moore, J. E. (2002). Field hydrogeology. *A guide for site investigations and report preparation*. Lewis Publishers. 195 pp.
- Pulido, J. L., (1978). Hidrogeoquímica prática, Bilbao: Ed. Urmo, SA. 314 pp.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P.; Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho De Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J.H. (1979). *Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 114 pp.
- Rogers, W. J. (2003). Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker, Inc.
- Silva, E. (2015). *Recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de contaminação na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um contributo para o ordenamento do território a nível municipal*. Universidade do Porto. (Tese de mestrado não-publicada).
- Silva, E., Teixeira, J., Gomes, R. & Gomes, A. (2015). Recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um contributo para o ordenamento do território a nível municipal. *VII Congresso Nacional de Geomorfologia*. IGOT. Lisboa.
- Teixeira, J. A. A. (2006). *Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: implicações na gestão de georrecursos* (Tese de mestrado). Universidade de Aveiro.
- Teixeira, J. A. A. (2011). *Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos* (Tese de doutoramento). Universidade do Porto e de Aveiro.