



12.º SEMINÁRIO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Coimbra, 7 e 8 de março de 2019
Universidade de Coimbra / FCTUC
Departamento de Ciências da Terra
Sala: Anfiteatro C, 1º piso

COMISSÃO CIENTÍFICA E EDITORIAL

CEAS/APRH:

José Paulo Monteiro (UALG); Maria Manuela Simões (UNL); Manuel Abrunhosa (Consultor); Maria Paula Mendes (IST); Jorge Duque (Renato Azenha, Lda.)

AIH - Grupo português:

Ana Isabel Andrade (CITEUC); António Chambel (Universidade de Évora); Hélder Chaminé (Inst. Superior de Engenharia do Porto)

FCTUC - Departamento de Ciências da Terra:

José Manuel Martins de Azevedo; Fernando Pedro Ortega Oliveira Figueiredo; Ana Maria Aguiar Castilho Ramos Lopes; Nelson Edgar Viegas Rodrigues

APA, IP/ARH Centro:

Paula Cristina Soares Garcia Mendes

Escola Superior Agrária de Coimbra / Dep. de Ambiente:

José Manuel Gonçalves

PATROCINADORES



12.º Seminário sobre Águas Subterrâneas



Grupo Português da
Associação
Internacional de
Hidrogeólogos



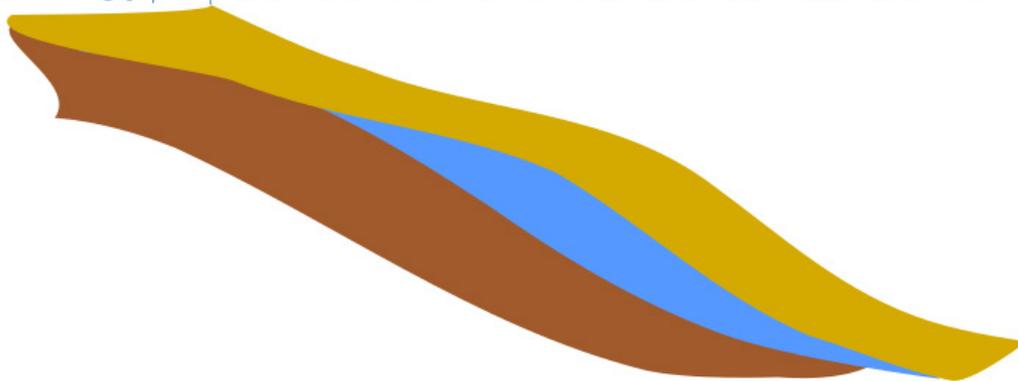
12.º SEMINÁRIO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Coimbra, 7 e 8 de março de 2019
Universidade de Coimbra

LIVRO DE ATAS

Livro de Atas

12^o SEMINÁRIO  ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS



12.º SEMINÁRIO SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Coimbra, 7 e 8 de março de 2019
Universidade de Coimbra

LIVRO DE ATAS

Os resumos estão organizados por ordem de aceitação das Comunicações.

Texto elaborado a partir da reprodução dos originais submetidos pelos autores, a quem cabe a responsabilidade dos conteúdos. Os resumos foram submetidos para revisão científica por pares (anónimos).

Foram aceites textos em língua portuguesa pré e pós acordo ortográfico.

Título

Livro de Atas 12.º Seminário de Águas Subterrâneas

Edição

APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

a/c LNEC - Av. do Brasil, 101 - 1700-066 LISBOA

Tel. 21 844 34 28

E-mail: aprh@aprh.pt

URL da APRH: <http://www.aprh.pt>

URL do 12º Seminário sobre Águas Subterrâneas: <http://www.aprh.pt/12sas/>

Local

Universidade de Coimbra /FCTUC - Departamento de Ciências da Terra

Data

7 e 8 de março de 2019

Paginação:

APRH - Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos

Ilustração da capa:

André Cardoso

Data da edição

Março de 2019

Impressão

Europress, Lda.

Depósito legal

452928/19

ISBN: 978-989-8509-22-2

ÍNDICE

MENSAGEM DA COMISSÃO ORGANIZADORA.....	1
COMO CONTROLAR A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ZONAS COSTEIRAS USANDO A GESTÃO DA RECARGA DE AQUÍFEROS (MAR) OTIMIZADA PELA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À INTRUSÃO MARINHA COM OS MODELOS GALDIT E GABA-IFI.....	3
<i>João Paulo LOBO-FERREIRA</i>	
RISCOS ASSOCIADOS ÀS ATIVIDADES NO CAMPO MILITAR DE SANTA MARGARIDA. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ATRAVÉS DA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA E DETECÇÃO DE VÍRUS HUMANOS – RESULTADOS PRELIMINARES....	4
<i>Paula M. CARREIRA, Sandra CABO VERDE, Joana MADUREIRA, Eduardo FERRÃO, Paula FIGUEIREDO, José M. MARQUES, Duarte DIAS, Dina NUNES</i>	
REMOÇÃO DE DUREZA TOTAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR MEIO DE UM REATOR DE RESINA DE TROCA CATIONICA FLUIDIZADA.....	8
<i>Aquila Silva LEVINDO</i>	
ÁGUA MINERAL DE CABEÇO DE VIDE (PORTUGAL): UM POSSÍVEL ANÁLOGO PARA MARTE	13
<i>Carla Sofia ROCHA, José MARQUES, Paula CARREIRA, Maria Orquídia NEVES</i>	
CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEPTUAL DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA MINERAL NATURAL DE CASTELO DE VIDE	18
<i>Alexandre MORAIS ALMEIDA, Diana DIAS, Marta ALMEIDA, José Manuel MARQUES, Antunes da SILVA</i>	
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SNIRH PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	22
<i>Nuno BARREIRAS, Francisco NUNES CORREIA, Rafaela SALDANHA MATOS</i>	
AQUÍFEROS E MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SETOR SUDOESTE DO CONCELHO DA MEALHADA.....	27
<i>Pedro NEVES, José Manuel AZEVEDO, Ana Maria CASTILHO</i>	
HIDROGEOLOGIA DO DEPÓSITO DELTÁICO DO RIO CATUMBELA (ANGOLA)	31
<i>João HUVI, José Manuel AZEVEDO, Pedro DINIS</i>	
HIDRODINÂMICA E MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO SECTOR CENTRAL (TORNADA) DO SISTEMA AQUÍFERO CALDAS DA RAINHA-NAZARÉ.....	35
<i>João HENRIQUES, José Manuel AZEVEDO, Nelson RODRIGUES, Ana Maria CASTILHO</i>	
HIDROGEOLOGIA DOS DOMÍNIOS ENVOLVENTES DAS TERMAS DA TOUCA, ALPEDRINHA, FUNDÃO.....	40
<i>Valter SILVA, José Manuel AZEVEDO, Ana Maria CASTILHO, Luís M. FERREIRA GOMES</i>	
CARACTERIZAÇÃO E MODELIZAÇÃO DE AQUÍFEROS A PARTIR DE PROSPEÇÃO ELÉCTRICA.....	44
<i>Enrique ARACIL, Manuel Antunes da SILVA, Albino MEDEIROS, Elsa TEIXEIRA</i>	
INSTALAÇÃO DE DEMONSTRAÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM MEIOS POROSOS SATURADOS.....	48
<i>João VIEIRA, João L. M. P. de LIMA</i>	
MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO SIMPLES DA VÁRZEA DA NAZARÉ.....	52
<i>Carla CAROÇA</i>	
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM SISTEMAS AQUÍFEROS - CASO DE ESTUDO NA CIDADE DE TETE (MOÇAMBIQUE).....	56
<i>Ameno BANDE, I. Margarida H. R. ANTUNES</i>	
IMPACT OF PRECIPITATION PATTERN CHANGES IN THE GROUNDWATER QUALITY AT ALUVIÕES DO TEJO AQUIFER.....	57
<i>Teresa E. LEITÃO, Maria José HENRIQUES, Manuel M. OLIVEIRA and Ricardo LOURENÇO</i>	

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DO CAMPO MILITAR DE SANTA MARGARIDA (CENTRO – PORTUGAL).....	61
<i>Orquídia NEVES, José Manuel MARQUES, Patrícia PEREIRA, Eduardo FERRÃO, Paula FIGUEIREDO, Duarte DIAS</i>	
CARTA DE UNIDADES AQUÍFERAS DO MUNICÍPIO DE BROTAS, SP, BRASIL: SUBSÍDIOS AO PLANEAMENTO TERRITORIAL.....	66
<i>João Vitor Roque GUERRERO, Reinaldo LORANDI, Luiz Eduardo MOSCHINI, Antonio Alberto Teixeira GOMES, José Augusto de LOLLO</i>	
CAPTAÇÃO DE MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL EM CANTANHEDE	71
<i>Mário QUINTA-FERREIRA, José Manuel AZEVEDO, João CARVALHO</i>	
CHARACTERIZATION OF SHALLOW AQUIFER MATERIALS IN W PORTUGAL	75
<i>Maria Catarina PAZ, Francisco J. ALCALÁ, Ana MEDEIROS, Pedro MARTÍNEZ-PAGÁN, Jaruselsky PÉREZ-CUEVAS, Luís RIBEIRO</i>	
SUSTENTABILIDADE DO AQUÍFERO TEJO-SADO (EXPLORAÇÃO EFICIENTE NA MARGEM SUL DO TEJO).....	79
<i>Paulo GONÇALVES</i>	
AS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO VOUGA, MONDEGO E LIS (RH4).....	83
<i>Paula GARCIA, Marco ALMEIDA, Leonor SILVA</i>	
AVALIAÇÃO DO GRAU E DA TIPOLOGIA DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO SUPERFICIAL NA REGIÃO DE ESTARREJA.....	84
<i>Ana Carolina Pires MARQUES, Maria do Rosário de CARVALHO, Eduardo Anselmo FERREIRA DA SILVA</i>	
GESTÃO DO REGADIO PARA PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - ESTUDO DE CASO PARA MELHORAR A QUALIDADE DA ÁGUA NO VALE DO LIS	89
<i>José M. GONÇALVES, Olga FILIPE, Paula AMADOR, Isabel Maria DUARTE, Susana FERREIRA, Rui EUGÉNIO, Helena MARQUES, Manuel NUNES, Fátima OLIVEIRA, Madalena GONÇALVES, Henrique DAMÁSIO, António Dinis FERREIRA</i>	
CARTOGRAFIAS HIDROGEOLÓGICA E DO POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA URBANA DE VIANA DO CASTELO: INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES.....	94
<i>Liliana FREITAS, Maria José AFONSO, Helder I. CHAMINÉ</i>	
GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E GEOFÍSICA: UMA COMBINAÇÃO AO SERVIÇO DAS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS SULFÚREAS DA REGIÃO DE VIMIOSO	96
<i>Alcino Sousa OLIVEIRA, Enrique ARACIL, Ana RIVERA, José Manuel Martinho LOURENÇO</i>	
O POTENCIAL TERMAL DAS TERMAS DA AREOLA-MEDA.....	101
<i>Pedro J. COELHO FERREIRA, Luis M. FERREIRA GOMES, Alcino SOUSA OLIVEIRA, Rui Miguel M. MOURA, José Martinho LOURENÇO</i>	
VARIAÇÃO TEMPORAL DO GÁS RADÃO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E FATORES CONDICIONANTES – DADOS PRELIMINARES.....	106
<i>Alcides PEREIRA, Sérgio SÉCO, Nelson SIMÕES, Filipa DOMINGOS</i>	
APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA MASSA DE ÁGUA MINERAL DAS “CORRAS DO BUÇACO”, PENACOVA.....	110
<i>Carla Sofia ROCHA, Fernando FIGUEIREDO, Ana Castilho LOPES, Lídia CATARINO, José Manuel AZEVEDO</i>	
QUALIDADE DA ÁGUA NA AGRICULTURA DE REGADIO: CASO DE ESTUDO NAS LEZÍRIAS DO RIO TEJO	115
<i>David FERREIRA, Manuela SIMÕES, Fernando REBOREDO, Fernanda PESSOA, Ana Sofia ALMEIDA, Rosário CARVALHO, Fernando LIDON</i>	

THE IMPACT OF ATMOSPHERIC TELECONNECTIONS ON THE COASTAL AQUIFERS OF RIA FORMOSA	116
<i>M. Conceição NEVES, Luís COSTA, Rui HUGMAN, José Paulo MONTEIRO</i>	
OFERTA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	120
<i>Frederico PEIXINHO, João DINIZ</i>	
CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DAS AREIAS, ARENITOS E CASCALHEIRAS DO LITORAL ALENTEJANO	124
<i>José Paulo MONTEIRO, Luís COSTA, Rui HUGMAN</i>	
MODELOS DE PREVISÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE DA MASSA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ZONA VULNERÁVEL DE ESTARREJA - MURTOSA.....	128
<i>Joel ZEFERINO, M. Rosário CARVALHO, M. Catarina SILVA, A. Rita LOPES, Rosário JESUS, Sofia BATISTA</i>	
APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA EM ALAGOA – ARGANIL.....	132
<i>Fernando FIGUEIREDO, Lídia CATARINO, Fábio ANTUNES</i>	
PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CURSOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEOS - IMPLICAÇÕES GEOTÉCNICAS.....	137
<i>João DUARTE, José CARVALHO, Fernando FIGUEIREDO, Carla Sofia ROCHA, Filipa PINTO</i>	
AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA FORMAÇÃO ACADÉMICA EM PORTUGAL (LICENCIATURAS, MESTRADOS E ESPECIALIZAÇÕES): ESTADO ATUAL	142
<i>Ana Isabel ANDRADE, Manuel ABRUNHOSA</i>	
CARACTERIZAÇÃO DO HABITAT MARINHO DO PEPINO-DO-MAR (HOLOTHUROIDEA) NO ESTUÁRIO DO SADO E REGIÃO COSTEIRA DA SERRA DA ARRÁBIDA – RESULTADOS PRELIMINARES.....	146
<i>Sabrina SALES, Maria Fernanda PESSOA, Graça BRITO, Ana POMBO, Helena LOURENÇO, Narcisa BANDARRA, Manuela SIMÕES</i>	
CORK OAK TREE AND GROUNDWATER LEVELS: FILLING THE GAPS	150
<i>Maria Paula MENDES, Augusta COSTA</i>	



MENSAGEM DA COMISSÃO ORGANIZADORA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E OS DESAFIOS SOCIETAIS À ESCALA LOCAL, REGIONAL E GLOBAL

No momento em que se inicia a preparação do 12º Seminário sobre Águas Subterrâneas pretende dar-se continuidade a um ciclo iniciado em 2013, quando pela primeira vez este evento se realizou fora de Lisboa, no Campus da Caparica da Universidade Nova de Lisboa. Já na edição anterior, em 2011 se tinha realizado este encontro na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, a primeira ocasião em que não foi o Laboratório Nacional de Engenharia Civil a acolher a sua realização. Com o objectivo de continuar a levar a realização deste Seminário a outras instituições, este realizou-se na Universidade de Évora em 2015 e no Instituto Superior de Engenharia do Porto em 2017. Será agora a vez da Universidade de Coimbra acolher a sua realização.

Escolheu-se desta vez o tema “As Águas subterrâneas e os desafios sociais e ambientais à escala local, regional e global”, com o intuito de evidenciar a importância e a diversidade das relações entre os recursos hídricos, a Sociedade e o Ambiente a todas as escalas geográficas. De facto, para além de constituírem um importante componente ambiental que viabiliza o equilíbrio dos ecossistemas, as águas subterrâneas são igualmente recursos naturais de incontornável importância para as atividades humanas. Assim, aprofundar o seu conhecimento é decisivo, quer para a sustentabilidade ambiental, quer para a resolução dos desafios sociais e ambientais nas próximas décadas, particularmente num cenário de importantes alterações climáticas.

A dimensão e a complexidade das questões atuais de natureza hidrogeológica, à semelhança com os problemas sociais, aumentam com a escala de observação e com a profundidade de análise. Assim, como um único poço ou furo podem suprir as necessidades de água de uma casa, aldeia ou exploração agrícola, um aquífero pode sustentar uma cidade, uma região, ou um país e contribuir decisivamente para a estabilização do caudal de base de um rio. Por consequência, a má gestão e a sobre-exploração das águas subterrâneas podem afetar profundamente as atividades humanas e os equilíbrios ambientais em pequenas parcelas do território, assim como em vastíssimas regiões.

A sustentabilidade e o bom estado das massas de água, dos sistemas aquíferos e das bacias hidrográficas, assim como a implementação de políticas assertivas de gestão do ambiente e dos recursos hídricos implicam um conhecimento hidrogeológico avançado. O 12.º Seminário sobre Águas Subterrâneas constituirá um palco privilegiado para a divulgação e discussão de novos saberes, problemas e soluções referentes às águas subterrâneas.

COMO CONTROLAR A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ZONAS COSTEIRAS USANDO A GESTÃO DA RECARGA DE AQUÍFEROS (MAR) OTIMIZADA PELA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À INTRUSÃO MARINHA COM OS MODELOS GALDIT E GABA-IFI

João Paulo LOBO-FERREIRA¹

1 Dr.-Ing. Habil., Coordenador do Gabinete de Apoio a Parcerias de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, Portugal, lferreira@lnec.pt

RESUMO

Para neutralizar as consequências prejudiciais, eventualmente com consequências catastróficas, da degradação da qualidade das águas subterrâneas, hoje e no futuro, devido à intrusão de água salgada nos aquíferos costeiros, a Gestão da Recarga de Aquíferos (MAR) é considerada a melhor solução, sólida, segura e sustentável. MAR, nas áreas costeiras, depende da disponibilidade de água, incluindo águas residuais adequadamente tratadas. Como controlar a intrusão de água salgada nas zonas costeiras implementando uma instalação MAR? Os parâmetros necessários para responder a essa pergunta incluem a seleção da tecnologia MAR mais apropriada e a melhor localização para o MAR. O local apropriado deve ter boas taxas de infiltração; espaço suficiente para armazenar no subsolo a água recarregada; garantir que o tempo de percurso da água recarregada no aquífero seja suficiente longo, compatível com a frequência esperada dos períodos de seca; maximização da eficiência económica; disponibilidade de áreas para o MAR; e impactos positivos na sociedade. O modelo GABA-IFI aborda esses parâmetros permitindo a seleção da área mais apropriada para a localização de instalações de MAR. Complementarmente, modelos matemáticos estão disponíveis para quantificar as taxas de injeção de água para a MAR necessárias para recuperar os níveis de esgotamento dos aquíferos. Mas o GABA-IFI não é suficiente como resposta em relação às zonas costeiras e também para o esperado aumento do nível do mar em todo o mundo. Nesses casos, temos que avaliar as zonas mais vulneráveis para controlar a degradação da qualidade da água subterrânea, avaliando a vulnerabilidade à intrusão da água salgada. O método GALDIT é provavelmente, hoje, o modelo mais usado em todo o mundo para esse fim. O GALDIT usa parâmetros hidrogeológicos como propriedades de aquíferos, condutividade hidráulica, nível de água subterrânea, distância ao litoral, severidade atual da intrusão de água salgada e espessura do aquífero para o mapeamento dos índices de vulnerabilidade de intrusão de água salgada. O GALDIT dá um peso a cada um dos índices e prioriza os índices através de um processo de tomada de decisão, e então avalia a possibilidade de intrusão de água salgada por um cálculo numérico. São apresentados casos de estudo.

Palavras Chave: Zonas costeiras, intrusão marinha, modelos matemáticos, método GALDIT, índice GABA-IFI.

RISCOS ASSOCIADOS ÀS ATIVIDADES NO CAMPO MILITAR DE SANTA MARGARIDA. AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ATRAVÉS DA COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA E DETECÇÃO DE VÍRUS HUMANOS – RESULTADOS PRELIMINARES

Paula M. CARREIRA¹, Sandra CABO VERDE¹, Joana MADUREIRA¹, Eduardo FERRÃO², Paula FIGUEIREDO², José M. MARQUES³, Duarte DIAS², Dina NUNES¹

1. Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares, Instituto Superior Técnico (C2TN/IST), Universidade de Lisboa, Estrada Nacional 10, km 139,7 2695-066 Bobadela LRS, Portugal, carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt; sandracy@ctn.tecnico.ulisboa.pt; joanamadureira@ctn.tecnico.ulisboa.pt; dina@ctn.tecnico.ulisboa.pt

2. CINAMIL, Academia Militar, Rua Gomes Freire 1150-244 Lisboa, cip.figueiredo@sapo.pt; brigmec.cmdt@mail.exercito.pt; brigmec.bascmdt@mail.exercito.pt

3. Centro de Recursos Naturais e Ambiente, Instituto Superior Técnico (CERENA/IST), Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal, jose.marques@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

No âmbito do Projeto de I&D RASA, financiado pelo Estado Maior do Exército, procedeu-se à avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais no Campo Militar de Santa Margarida, por águas residuais (após o tratamento) que são lançadas para a Ribeira da Ervideira. Os resultados isotópicos indicam que: (i) os fenómenos de evaporação são inexistentes ou insignificantes; (ii) foram identificadas diferentes áreas de recarga (Caniceira sistema mais profundo e Ervideira sistema aquífero mais superficial). Na avaliação da presença de vírus entéricos foram identificados adenovírus e norovirus humanos na Ribeira da Ervideira (após descarga da ETAR (tratamento secundário)). Não foram detectados vírus entéricos humanos nos sistemas aquíferos da região (superficial e mais profundo).

Palavras-Chave: isótopos ambientais; vírus entéricos humanos; contaminação; impacto ambiental; Campo Militar de Santa Margarida

1. INTRODUÇÃO

O Campo Militar de Santa Margarida (CMSM) localiza-se aproximadamente a 130 km a N de Lisboa (concelho de Constância), e ocupa uma área de 67 km² com a presença mais ou menos permanente de 1500 Homens. O Projeto de I&D RASA financiado pelo Estado Maior do Exército teve como objetivo principal a identificação e caracterização dos riscos associados à carga viral e constituintes químicos que possam entrar nos sistemas hídricos (superficiais e subterrâneos) e solos, provenientes das atividades militares (atividades urbanas e uso de fogo real).

A área de estudo situa-se na margem esquerda do rio Tejo, numa zona planáltica entre os 150 e os 200 m de altitude. O planalto é sulcado por algumas ravinas e linhas de água. O substrato litológico é dominado por depósitos de cascalheiras, arenitos argilosos avermelhados e acastanhados, com seixos e argilas, materiais que se depositaram num antigo estuário (pré-Tejo), do Pliocénico, e que passam inferiormente a formações também constituídas por areias acastanhadas com seixos e argilo-areníticas, do Miocénico Superior. Estes depósitos, tipicamente de origem fluvial, assentam diretamente sobre o soco antigo do Precâmbrico, que aflora na base dos taludes dos vales mais profundos. Os depósitos de terraço fluvial e as formações miocénicas e pliocénicas são formações sedimentares, constituídas por cascalheiras e materiais pouco ou nada consolidados, arenitos com alguma argila, e que podem constituir formações aquíferas (Ribeiro et al., 1977).

O clima da região é caracterizado por apresentar valores médios de pluviosidade de 828 mm/ano. A profundidade dos furos de abastecimento de água na região varia entre os 13 e os 27,5m, e a água é captada entre -6 e -24m, com caudais variando entre 5,2 L/s e 50 L/s, com níveis hidrostáticos que se situam entre os 2,71 m e -9,66 m (Ribeiro et al., 1977).

Os resultados aqui apresentados e discutidos referem-se apenas à avaliação da presença de vírus entéricos e da composição isotópica obtidos nas amostras de águas subterrâneas e de águas superficiais, com vista à identificação de uma eventual contaminação das águas subterrâneas resultante das atividades urbanas no CMSM. Importa referir que a principal fonte de abastecimento de água ao CMSM (para consumo/uso urbano) é feito através da rede municipal.

2. METODOLOGIA E RESULTADOS OBTIDOS

2.1 Metodologia

Foram realizadas na área de estudo 3 campanhas de amostragem com vista à colheita de amostras de água (superficial e subterrânea) e amostras de água na estação de tratamento de águas residuais (ETAR), localizada no interior do CMSM. As amostragens foram efetuadas em outubro de 2015, setembro de 2016 e outubro 2017 em diferentes locais do CMSM.

Para a determinação de teor em ^{18}O e em ^2H , foram colhidos 50 mL de água em cada local selecionado. As amostras de água foram armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade e dupla tampa, de modo a evitar fracionamento isotópico. Para a preservação das amostras já em laboratório recorreu-se à refrigeração (sem congelamento). A determinação dos teores em isótopos estáveis (^2H e ^{18}O) foi realizada por Espectroscopia Laser (LGR 24d). Os resultados são reportados em notação delta (δ) e referenciados ao padrão internacional V-SMOW (IAEA, 2009).

Para a avaliação da presença de vírus entéricos, foram recolhidas amostras de 1 L de água em frascos de vidro previamente esterilizados. A deteção dos vírus entéricos, nomeadamente adenovírus humano (HAdV) e norovírus humano (HNV), foi efetuada por técnicas baseadas na Reação de Polimerização em Cadeia (PCR). Para a deteção de HAdV utilizou-se um método de Nested PCR (Allard et al., 2001). Os HNV foram detetados por um método de PCR com Transcrição Reversa (RT-PCR) adaptado de Jiang et al. (1999). Os produtos de amplificação das técnicas de PCR utilizadas foram visualizados por electroforese em gel de agarose a 2% com 0.01 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de GelRed, e documentados pelo sistema Gel Imaging system (Elettrofor).

Dos diversos locais selecionados para colheita de água subterrânea importa referir que os quatro locais selecionados pretendem representar os diversos “tipos” de água que se pode encontrar do CMSM, nomeadamente: (i) Nascente da ETAR com área de recarga em zona urbana e situando-se a cota superior e relativamente perto da ETAR; (ii) Nascente da Ervideira – área de recarga situada em sub-zona agrícola; (iii) Nascente do Pratas – possível área de recarga em zona de treino militar. A captação da Carniceira é explorada para irrigação, lavagem das viaturas militares e na piscina. A água do furo da Caniceira admite-se ser a referência para águas subterrâneas regionais, ou seja, de circulação profunda.

2.2 Caracterização Isotópica

Os resultados isotópicos obtidos nas diversas campanhas realizadas no CMSM (Tabela 1) foram projetados em diagrama ortogonal $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ (Fig. 1a). Da análise do diagrama salienta-se a distribuição das amostras aproximadamente sobre ou ao longo da reta das águas meteóricas mundiais (G-MWL), indicando que os fenómenos de evaporação (fracionamento isotópico) são inexistentes ou insignificantes. Simultaneamente, dessa projeção sobressai o afastamento de 3 amostras referentes à campanha de 2016, indicando outra fonte de abastecimento de água ao CMSM, ou seja, que o abastecimento de água fornecido pelos serviços municipais (fonte externa ao campus) recorreu a outra fonte de abastecimento. Do diagrama é possível formular a hipótese de o furo da Caniceira e a Nascente da Ervideira apresentem distintas áreas de recarga, situando-se a altitude preferencial da área de recarga da Nascente da Ervideira a cota inferior à do furo da Caniceira ou mesmo da Nascente do Pratas.

A Fig. 1 demonstra que a contribuição (recarga) da Nascente da Ervideira para a Ribeira da Ervideira é praticamente inexistente, sendo a contribuição principal proveniente da descarga da ETAR (após tratamento secundário). Face ao conteúdo isotópico é possível propor diferentes altitudes preferenciais de recarga, com uma diferença altimétrica de aproximadamente 200 m, admitindo um fracionamento isotópico de $-0.2\text{‰}/100\text{ m}$ (Carreira et al., 2009). Da projeção da condutividade elétrica por local amostrado ao longo das várias campanhas, registaram-se valores aproximadamente

constantes ao longo das campanhas, salientando-se o afastamento (menor mineralização) da Nascente do Pratas, comparativamente com as restantes amostras de água. Sobressai ainda o afastamento, para valores superiores de mineralização nas duas amostras da ETAR e Ribeira da Ervideira na amostragem de 2016, corroborando a hipótese anteriormente formulada de outra origem de abastecimento ao CMSM.

Tabela 1. Composição isotópica das amostras de água do CMSM.

Amostras	$\delta^{18}\text{O}$ vs V-SMOW (‰)			$\delta^2\text{H}$ vs V-SMOW (‰)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
1 Nasc. antes da ETAR	-5,10	-4,98		-29,8	-27,9	
2.2 ETAR depois tratamento	-4,96	-4,23	-5,62	-31,6	-26,1	-32,0
2.3 ETAR descarga R.Ervideira	-5,10	-4,17	-5,52	-33,2	-24,7	-32,2
3. Furo da Caniceira	-5,17	-5,17	-5,39	-31,7	-30,4	-30,1
4. Nascente dos Porcos	-5,16	-	-	-33,7	-	-
5. Ribeira da Ervideira	-4,94	-4,13	-	-33,4	-25,0	-
7. Depósito da Caniceira	-5,17	-5,16	-5,31	-30,4	-31,2	-31,1
8. Nascente da Ervideira	-4,89	-4,96	-4,89	-28,9	-27,6	-27,2
9. Nascente do Pratas	-	-5,16	-5,49	-	-30,2	-30,6

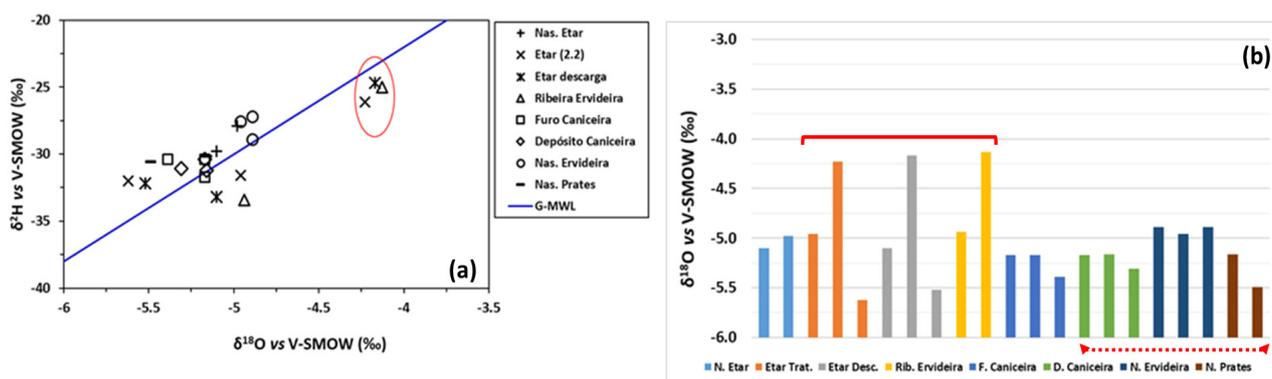


Fig.1. (a) $\delta^{18}\text{O}$ versus $\delta^2\text{H}$. No diagrama estão projetados os valores das 3 campanhas (2015-2017). (b) Variação de teor em ^{18}O nas amostras de água para as três campanhas de amostragem (2015-2017).

2.3 Detecção de vírus entéricos

As amostras de água da ETAR, recolhidas em outubro de 2015 (Fig. 2a), indicaram a presença de adenovírus humanos ao longo do processo de tratamento das águas residuais e no efluente tratado (amostra 2.3). No entanto não foi detectada a sua presença na Ribeira da Ervideira que recebe directamente a descarga da ETAR. O resultado obtido evidencia a ineficiência do tratamento de efluentes relativamente à carga viral. As restantes amostras não evidenciaram a presença de Adenovírus.

Nas amostras de 2016, no entanto, foi detectada a presença de Adenovírus humanos na amostra da ETAR (2.2) e na Ribeira da Ervideira. As mesmas amostras revelaram também a presença de norovírus apontando para a contaminação deste curso de água. No entanto, na amostra 2.3 (descarga da ETAR) não foi detectado a presença de norovírus, apontando para outra fonte de contaminação do sistema superficial. Nas restantes amostras não foi observada a presença de Norovírus e/ou Adenovírus. Comparando os resultados obtidos na detecção de adenovírus nas recolhas de 2015 e 2016, verificou-se uma redução da incidência deste vírus nas amostras da ETAR, o que poderá estar relacionado com o baixo conteúdo em matéria orgânica e sólidos suspensos das amostras de 2016.

Em suma, os resultados obtidos indicaram a presença de vírus entéricos humanos nas águas da ETAR do CMSM, e apontaram para uma ineficiência do tratamento de águas residuais na remoção de vírus. Esta persistência, pode levar à contaminação de outros sistemas de água (superficiais ou subterrâneos).

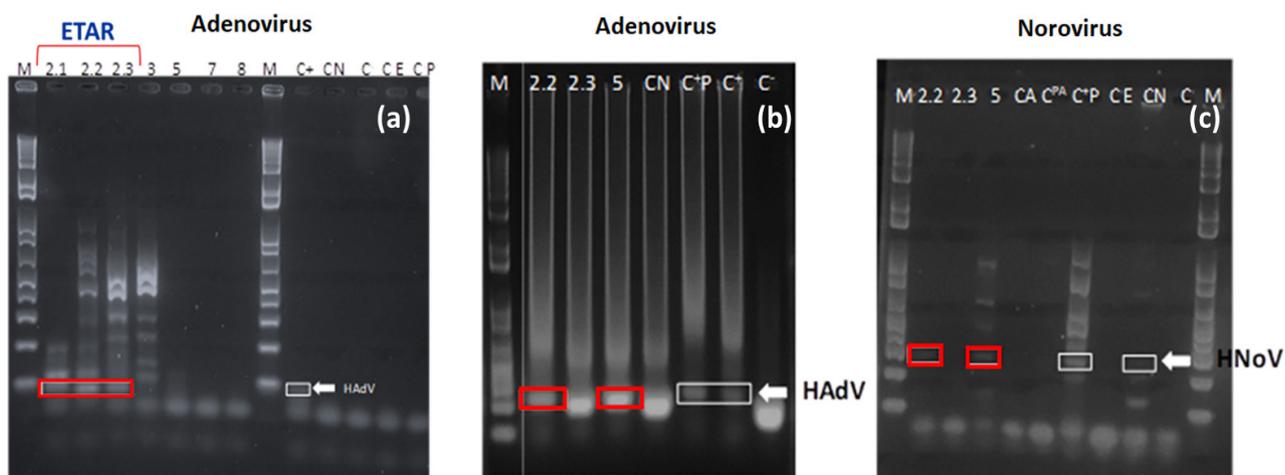


Fig. 2. (a) Detecção de adenovírus humano (HAdV) nas amostras de água recolhidas em 2015 e (b) em 2016. (c) Detecção de norovírus humano (HNoV) nas amostras de água em 2016.

3. CONCLUSÕES

Os estudos efectuados no CMSM demonstram a importância de se realizar não apenas análises à qualidade físico-química das águas da ETAR após tratamento, mas também aos parâmetros microbiológicos, de modo a avaliar se esta poderá ter alguma utilidade, por exemplo como fonte de água para rega e na sustentabilidade dos recursos hídricos. De facto, os resultados obtidos indicaram a persistência de vírus entéricos humanos após o tratamento secundário, o que pode levar à contaminação de outros sistemas de água (superficiais ou subterrâneos).

Com base na composição isotópica das águas amostradas foi possível identificar áreas de recarga diferentes para o furo da Caniceira e Nascente da Ervideira e ainda a diferentes origens no abastecimento de água ao CMSM pela rede pública e a ausência de mistura entre os sistemas de águas subterrâneas e superficiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Estado Maior do Exército o financiamento através do Projeto de I&D “*RASA – Riscos associados aos solos e sistemas aquíferos do Campo Militar de Santa Margarida*”. Os autores do C²TN agradecem o apoio da FCT através do projeto UID/Multi/04349/2013; o autor do CERENA/IST agradece o apoio da FCT através do projeto UID/ECI/04028/2019. Os autores agradecem ainda o apoio logístico do CMSM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allard A, Albinsson B, Wadell G (2001) Rapid typing of human adenoviruses by a general PCR combined with restriction endonuclease analysis. *Journal of Clinical Microbiology*, 39 (2): 498-505
- Carreira PM, Nunes D, Valerio P, Araujo MF (2009) A 15-year record of seasonal variation in the isotopic composition of precipitation water over continental Portugal. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 281: 153-156
- Gonçalves F, Zbyzewski G, Carvalhosa A, Coelho AP (1979) Notícia explicativa da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 27-D. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, p 75
- IAEA (2009) Laser spectroscopic analysis of liquid water samples for stable hydrogen and oxygen isotopes. Performance testing and procedures for installing and operating the LGR DT-100 liquid water stable analyzer. Training Course Series 35. International Atomic Energy Agency, Vienna, p 37
- Jiang X, Huang PW, Zhong, WM, Farkas T, Cubitt DW, Matson DO (1999) Design and evaluation of a primer pair that detects both Norwalk- and Sapporo-like caliciviruses by RT-PCR. *Journal of Virology Methods*, 83: 145-154

REMOÇÃO DE DUREZA TOTAL DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR MEIO DE UM REATOR DE RESINA DE TROCA CATIONICA FLUIDIZADA

Aquila Silva LEVINDO¹

1. CREA-GO, Goiânia-GO, Brasil., aquilalevindo.ea@gmail.com

RESUMO

A aplicação de resina de troca catiônica é um método alternativo de tratamento de efluentes e de água. As resinas poliméricas, as quais possuem características diferentes de acordo o material e granulometria, são utilizadas para o tratamento de efluentes industriais, para remoção de íons positivos e negativos, e para abrandamento no tratamento de água. No Estado de Goiás, a utilização desse material irá facilitar o tratamento de águas subterrâneas, oriundas de poços profundos para abastecimento público que possuem elevada dureza. Nesse projeto construiu-se um reator de leito fluidificado operado por batelada no qual a resina tem maior superfície de contato com a amostra e pode operar em maior eficiência na remoção dos íons Ca^{2+} da água com dureza total elevada. O estudo do método constituiu-se da coleta de amostras de água subterrâneas, da produção de amostras sintéticas, da operação do reator fluidificado com resina de troca catiônica, e da verificação da quantidade de dureza total através do método titulométrico EDTA. Após a análise dos resultados obtidos das amostras tratadas pela resina concluiu-se que o reator construído é eficiente, uma vez que foi verificada remoção de dureza total da água coletada e sintetizada em valores de 75 a 99%.

Palavras-Chave: Água Subterrânea, Dureza Total, Reator Fluidificado, Águas de abastecimento.

1. INTRODUÇÃO

Dentre muitos fatores, o fornecimento de água potável de um município ou região depende da qualidade da água fornecida, que deve estar em conformidade com as diretrizes e aos parâmetros físico-químicos estabelecidos pelas legislações vigentes. A água potável ao chegar à torneira do consumidor deve respeitar os limites máximos e as concentrações mínimas dos diversos parâmetros físico-químicos e biológicos estabelecidos por essas normas. Nesse contexto, conforme Pena (2015), destacam-se as águas subterrâneas, por apresentarem uma qualidade da água geralmente superior às águas superficiais, reservas abundantes e uma menor necessidade de transporte em alguns casos, o que minimiza custos no processo de tratamento. As águas subterrâneas estão classificadas de acordo com a Resolução CONAMA 396 de 2008 como classes especial, 1, 2, 3, 4 e 5. A mesma resolução 396 estabelece os padrões de qualidade das águas subterrâneas e dispõe sobre as diretrizes para prevenção e controle da poluição de tais águas.

A água subterrânea possui um papel crucial para o abastecimento público de água, de fato, desde 1950, a captação de água subterrânea cresceu bastante para suprir as necessidades de água da população (Silva et al, 2006). Contudo, a contaminação da água subterrânea, mesmo sendo menos vulnerável do que a água superficial, é, geralmente, de cara e complicada descontaminação (Ferreira et al, 2009). Diversos parâmetros alteraram a qualidade da água subterrânea, e nesse sentido, Dias et al (2007) pontua que um dos principais parâmetros para a indicação da qualidade da água subterrânea é a dureza total. Em função da concentração em que se apresenta, a dureza total, representada pela somatória das concentrações dos íons Cálcio e Magnésio, pode representar um problema no processo de distribuição de água potável. Ainda que a água distribuída esteja em conformidade com o padrão de potabilidade das leis vigentes, a dureza total elevada causa problemas nas tubulações, no sabor, e na eficiência da água como solvente.

Em Goiás, a opção por captação de água subterrânea tem se tornado comum devido à qualidade da água ser usualmente superior à qualidade encontrada superficialmente, com efeito, necessitando um menor custo no tratamento. Contudo, alguns sistemas possuem como obstáculo à sua implantação uma elevada dureza, devido às características do solo em que o poço é perfurado. Celligoi (1999) aponta que o íon Cálcio forma, através de suas ligações com outros elementos, depósitos de calcita, aragonita, carbonatos e dolomita, pois o Cálcio é o íon mais comum encontrado em águas subterrâneas e o íon Magnésio mesmo em menor abundância possui grande solubilidade com a água. Portanto, uma elevada dureza acaba ocasionando que a operação seja inviabilizada devido ao investimento necessário para a

remoção da dureza total ou abrandamento do afluente. Diante de um cenário, em que a dureza total acima de 150 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ não é aceita pelos consumidores, fica evidente a necessidade de encontrar metodologias alternativas para remoção de dureza de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público.

2. OBJETIVOS

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência de uma resina catiônica na remoção de dureza de água oriunda de mananciais subterrâneos visando o abastecimento público, assim como determinar o tempo de esgotamento da capacidade de troca iônica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A eficiência do sistema na remoção de dureza foi avaliada com água subterrânea e água com dureza variável preparada em laboratório. Para a operação do sistema com água subterrânea, foi necessária a seleção de uma água que contenha a maior dureza possível e o mínimo de interferência de outros elementos, tais como ferro ou sódio, pois estes íons poderiam ser removidos no tratamento, interferindo na capacidade de esgotamento da resina e alterando o resultado final do processo. A água subterrânea foi retirada de um poço perfurado em aquífero confinado, com 88 metros de profundidade e um diâmetro útil de 6 polegadas, sendo jorrante. A vazão era considerada adequada para o abastecimento do município, porém a água apresentava dureza de 186 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. Com o propósito de obter afluentes sintéticos com dureza total de 500, 400, 300, 200 e 100 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, uma solução de CaCO_3 com concentração de 5 g L^{-1} foi diluída em água destilada de forma a produzir alíquotas com diversas concentrações. O procedimento de titulação para determinação da dureza total foi realizado de acordo com o procedimento publicado em, APHA, AWWA, WFCF (2005). Os resultados obtidos apresentaram um valor inferior ao esperado devido à precipitação do carbonato de cálcio, decorrente de sua baixa solubilidade. A especificação técnica da Resina Purolite C100, conforme a ficha técnica do produto, destaca que a capacidade de troca iônica da resina é de 2.0 eq $\cdot \text{L}^{-1}$ (na forma Na^+), e um peso específico de 800 à 840 g $\cdot \text{L}^{-1}$. A resina possui uma capacidade de troca de 1.54 Kg $\cdot \text{L}^{-1}$ (valor convertido da unidade de medida presente na especificação técnica do produto, 43,7 Kg $\cdot \text{ft}^3^{-1}$).

4. DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

O sistema experimental estava composto por um reator de leito fluidificado, um reservatório de recirculação e uma bomba submersível. O reator operava em bateladas sequenciais e foi construído a partir de um tubo acrílico com 40 cm de comprimento e 50 mm de diâmetro interno. O afluente entrava reator pela parte inferior, fluidificando a resina até uma altura de 40 cm. A saída de água se dava por uma mangueira lateral, localizada na porção superior do reator. Uma membrana de tecido permeável atuava como sistema de drenagem do reator impedindo a passagem de resina do módulo superior para o inferior. O reservatório de circulação do afluente possuía 100 mm de diâmetro e 12 cm de altura e tinha a função de alojar a bomba submersível, a Figura a seguir demonstra o esquema.

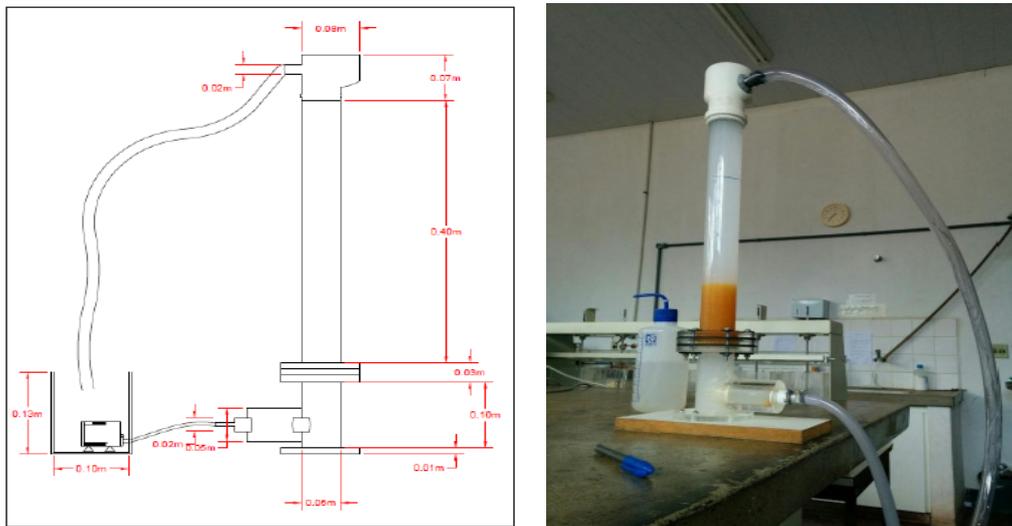


Figura 1: Esquema do sistema experimental

De forma a manter a vazão constante e superar a perda de carga envolvida, utilizou-se uma bomba submersível (Sarlo Better 1000a), com vazão regulável e pressão máxima de 2 m.c.a. A vazão utilizada foi de 0,016 L.s⁻¹. Uma vez que o sistema foi projetado de forma a operar em batelada a bomba foi instalada no recipiente de recirculação, mantendo apenas o volume necessário para que permanecesse submersa, de forma que o volume total do sistema foi de 1,7 L. Destes, 1 L corresponde ao volume do reator e 700 ml ao do reservatório de recirculação.

Para verificar a quantidade de resina a ser utilizada durante a operação foram realizados ensaios de remoção. Para tanto, foram utilizados 3, 5 e 10 g de resina em erlenmeyers com água com dureza de 50 mg CaCO₃.L⁻¹. Foram tomadas aferições de dureza ao longo do tempo, de forma a verificar a eficiência de remoção, portanto, adotou-se o valor de 5 min para cada concentração de resina, admitindo como remoção mínima nesse intervalo de tempo 50 % da dureza total. Sendo assim, num volume de 50 mL foi utilizado 3,007 gramas de resina para redução da dureza total em 50 % num período de 5 min. Esse teste foi realizado utilizando agitação magnética da amostra de água em um erlenmeyer de 300 mL, simulando a agitação da resina que obtida em um reator. Visto que o resultado encontrado foi aceitável, definiu-se a proporção de resina a ser utilizada para o volume total de água utilizado no reator, portanto, verificou-se que seriam necessários 90 g de resina para a operação do reator, utilizada em todo tempo que o reator estava sendo utilizado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos, é possível inferir que a dureza total inicial da maior parte dos afluentes sintéticos ficou abaixo da esperada, principalmente o valor do afluente 1, cujo valor na primeira aferição manteve-se em cerca de metade do valor esperado para Dureza Inicial, de 100 mg CaCO₃.L⁻¹. Destaca-se ainda que o pH inicial de todas as afluentes tende para um valor mais básico, de fato, conforme apontado por Celligoi (1999), se tratando de águas subterrâneas, o carbonato de cálcio é um dos agentes causadores de alcalinidade.

Em seguida as águas foram tratadas pela resina de troca catiônica no reator por um período de 60 min, conforme estabelecido na metodologia. Dessa forma, foram coletadas amostras de 50 mL nos intervalos de tempo predeterminados, tendo o pH e a dureza analisados imediatamente, evitando que ocorresse a precipitação da fase sólida da solução. Os testes seguiram a ordem da amostra de número 5 até a amostra 1, e por último o afluente PGD 19, realizando a lavagem do reator com água destilada, do recipiente de recirculação e da bomba entre cada execução para maior eficiência.

Ao observar a remoção das amostras sintéticas, é visível que o reator foi mais eficiente nas faixas de menor dureza,

como era esperado, visto que foi mantida a mesma proporção de resina. Pode-se notar que os afluentes números 3, 4 e 5 levaram 60 min para remover um valor superior a 70 % da dureza inicial, sendo que este índice foi atingido pelo afluente nº 2 na metade do tempo, e o afluente nº 1, tratando 50 de dureza, chegou a esse valor em apenas 10 min. Vale ressaltar que a dureza total deste afluente já estava bem próxima a esse valor na primeira circulação no leito fluidificado, sendo que foram 68,0 % de remoção em apenas no 3 primeiros min de operação.

Quanto à exaustão da resina, observou-se que ocorreu uma grande diferença entre a amostra sintética e amostra PGD 19-3.

As amostras finais possuem a mesma quantidade de EDTA utilizado na titulação, ressaltando que a resina saturou e não foi capaz de reduzir a concentração de carbonato de cálcio como anteriormente, por isso destacou-se os valores das durezas nos tempos utilizados. Desta forma, destaca-se que a partir de 4 horas e 40 min. de teste, sendo 2 horas de teste realizado com dureza inicial de 516 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ e 2 horas e 40 min realizado com dureza inicial de 168 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, a resina foi saturada, sendo necessário regenerar a mesma para continuar o tratamento.

Por fim, destaca-se, a título de comparação, o resultado apresentado por Paim (et al 2010) na utilização de 10 g de carvão ativado em leito fixo, obteve uma remoção média de 57,86 % de mg de CaCO_3 no tratamento de 100 ml de água com dureza média de 25,90 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. Se considerarmos o afluente sintético nº1, com dureza inicial de 50 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$, tratada com 90 g de resina, houve remoção de 68 % da dureza nos três primeiros min. Da mesma forma, o afluente sintético nº2, nº3, nº4 e nº5 tiveram sua dureza removida em 46,3, 20,7, 35,6, 34,7 % respectivamente, no mesmo intervalo de tempo. Destaca-se ainda que a resina foi capaz de tratar uma amostra, tendo a dureza e composição (sintética ou natural) por 4 horas e 40 min antes que perdesse sua capacidade de troca iônica, deixando claro que, no caso de águas com dureza natural, seu rendimento foi melhor, prolongando seu tempo de operação.

6. CONCLUSÕES

Em posse das análises e após realizadas as implicações, destaca-se de forma positiva a eficiência alcançada, principalmente quando considerada amostra de campo, visto que se trata de uma solução do modo como é encontrada in-natura. Para essa amostra a operação foi satisfatória, tendo sua dureza virtualmente zerada em menor tempo do que o previsto, ou seja que foram necessários menos de 30 min para tratar 1,5 litros de água com dureza inicial de 180 mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$. Os resultados mostraram-se bastante satisfatórios também nas amostras sintéticas, que simulam uma dureza mais elevada, como esperado foi necessário um tempo maior de operação, contudo, com cerca de 20 min de operação, a amostra com maior dureza já apresentou remoção superior a 40 %. Além da capacidade de tratamento da resina, há de se considerar o resíduo gerado durante a operação. A resina, carregada com Na^+ , quando em contato com a água dura, gera bicarbonato de sódio, conforme demonstrado na equação estequiométrica anteriormente, sendo necessário observar este fator quando da implementação desse tratamento aliado a outros, como a desinfecção por cloro, por exemplo, devido aos sais formados na mistura. Outro aspecto relevante é a capacidade de tratamento após a recarga da resina, contudo, devido a ausência dos reagentes necessários para a realização do procedimento, não houve a recarga da resina, bem como a consequente análise de eficiência após a regeneração.

A fim de contribuir para a continuidade do estudo, destaca-se a necessidade de avaliar o comportamento da resina quando em contato com outros íons, ou mesmo quando ocorre a presença de mais de um

deles, em águas que apresentem altas concentrações de cálcio e ferro, por exemplo. Para o presente trabalho foi possível obter uma amostra de água que apresenta dureza elevada, mas sem a interferência de outros íons, fator que simplifica o tratamento e análise da amostra. Visto que a resina não é absolutamente restritiva, ela poderia se ligar a outros íons, afetando diretamente sua eficiência conforme a variação da concentração de íons presentes na amostra. Chama-se atenção ainda para estudos quanto ao comportamento do sistema na presença de outras características físicas, por exemplo uma turbidez elevada e, nesse sentido, utilizar o reator com outro método de tratamento aliado, constatando a viabilidade da utilização do reator como parte integrada a um sistema de tratamento de água. O trabalho proposto apresenta-se como uma alternativa para o tratamento de água subterrâneas que apresentam dureza elevada,

através da remoção de íons por troca catiônica, ocupando um espaço importante dentro das novas tecnologias de tratamento de água, visto que o tratamento convencional ainda não é capaz de solucionar estes problemas de forma tecnicamente viável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WPCF American public health association; American water works association; water environment federation. Standard Methods For the examination of water and wastewater. 21. Ed., 2005. Washington, D.C, USA.
- BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396. 2008.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 em 12 de dezembro de 2011. Normas e Padrão de potabilidade de água destinada ao consumo humano.
- CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. Geografia, Londrina, V. 8, n. 1, p. 91-97, jan./ jun. 1999
- Dias, C. L., Barbour, E. D. A., Toffoli, F. F., Acini, R., Lemos, M. G., Silva, C. M., & Casarini, D. P. O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo (período 2004 a 2006), 2007.
- Ferreira, C. S., Herder, I., Costa, M. L., & Ferreira, A. D. Monitorização da qualidade da água subterrânea na Escola Superior Agrária de Coimbra. 2009
- SILVA, M. L. DA, BONOTTO, D. M. Hidroquímica elementar e dos isotopos de urânio em águas subterrâneas da formação alter do chão, Manaus (AM). Revista Brasileira de Geociências. 36 (3): 437-448, setembro de 2006

ÁGUA MINERAL DE CABEÇO DE VIDE (PORTUGAL): UM POSSÍVEL ANÁLOGO PARA MARTE ...

Carla Sofia ROCHA^{1,2}, José MARQUES¹, Paula CARREIRA², Maria Orquídia NEVES¹

1. Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal. carla.s.rocha@ist.utl.pt; jose.marques@tecnico.ulisboa.pt; orquidia.neves@tecnico.ulisboa.pt

2. Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Estrada Nacional 10, ao km 139,7, 2695-066 Bobadela, Portugal. carreira@ctn.tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

A água mineral de Cabeço de Vide é uma água única em Portugal e rara no mundo. Esta água, conhecida desde a presença dos Romanos na Península Ibérica, apresenta características muito peculiares: pH > 11,5 e fácies Cl-Na/OH-Ca. *In situ*, ocorrem com temperatura de emergência entre 17 e 20 °C, condutividade eléctrica $\approx 550 \mu\text{S}/\text{cm}$, resíduo seco $\approx 200 \text{ mg}/\text{L}$, $C_{\text{total}} < 3,0 \text{ mg}/\text{L}$ e concentrações extremamente baixas de Mg^{2+} e sílica ($< 0,3$ e $5,6 \text{ mg}/\text{L}$, respectivamente). Por se tratarem de águas minerais hipercalinas, o tipo de actividade microbiana que se poderá desenvolver nestes ambientes extremófilos, tem despertado o interesse da NASA para estudos dedicados ao entendimento da origem da vida primitiva. A resposta para estas características únicas das águas minerais de Cabeço de Vide reside no processo de interação água-rocha, que se desenvolve num ambiente geológico complexo. As litologias por onde perculam as águas minerais de Cabeço de Vide são de natureza máfica (gabros olivínicos) e ultramáfica (peridotitos e serpentinitos). Esta interação água-rocha em profundidade promove a serpentinização activa em ambiente continental, associada à qual se observa a produção inorgânica de metano, fenómeno igualmente detetado na atmosfera do planeta Marte, fazendo de Cabeço de Vide um possível análogo para Marte.

Palavras-Chave: água mineral; hipercalcinidade; serpentinização activa; análogo para Marte; Cabeço de Vide

1. INTRODUÇÃO

Segundo Russel et al. (2010) a serpentinização integra uma teoria relativamente recente sobre a origem das primeiras formas de vida na Terra. A serpentinização, resultante da interação de águas meteóricas com os minerais presentes nas rochas ultramáficas (componentes importantes da Terra primitiva) como as olivinas magnesianas e as piroxenas cálcicas e magnesianas, origina o desenvolvimento de serpentinas, brucite e magnetite, e a libertação de hidrogénio (H_2). O H_2 promove a formação de metano (CH_4) como resultado da hidrogenação do CO_2 - reacção de Sabatier (Etiópe et al., 2013). Estes gases, gerados continuamente durante a serpentinização, podem ser usados por microorganismos como fonte de energia metabólica (Russel et al., 2010). Os sistemas de serpentinização a baixa temperatura ($< 150 \text{ }^\circ\text{C}$), como nascentes de água e furos de captação ricos em metano abiótico, foram recentemente estudados em diversos países (Etiópe, 2017). Em Portugal, as águas minerais de Cabeço de Vide, que emergem na nascente da Ermida e são exploradas nos furos de captação AC3 e AC5, e que apresentam pH elevado (pH > 11,5) e temperatura ambiente média $\approx 19 \text{ }^\circ\text{C}$ (Marques et al., 2018), encontram-se associadas a uma zona de serpentinização activa de expressão local.

2. ENQUADRAMENTO

A região em estudo encontra-se situada no Maciço Antigo, na zona geotectónica de Ossa Morena, caracterizada pela presença de grande variedade litológica: xistos, quartzitos, grauvaques (rochas Pré-Câmbricas) e calcários, xistos cloritizados, quartzitos e grauvaques (rochas Câmbricas) e ortognaisses datados de $466 \pm 10 \text{ Ma}$ (Gonçalves, 1973). Parte destas rochas foi metamorfozada por diversos episódios magmáticos intrusivos (rochas máficas e ultramáficas e rochas graníticas). As águas minerais de Cabeço de Vide, emergem junto ao contacto das rochas carbonatadas de idade Câmbrica com a intrusão dos gabros e dunitos/peridotitos, parcialmente serpentinizados, do Complexo Máfico/Ultramáfico de Alter do Chão - Cabeço de Vide (Fig. 1), estando associadas a um sistema de falhas de orientação geral N-S (Costa et al., 1993).

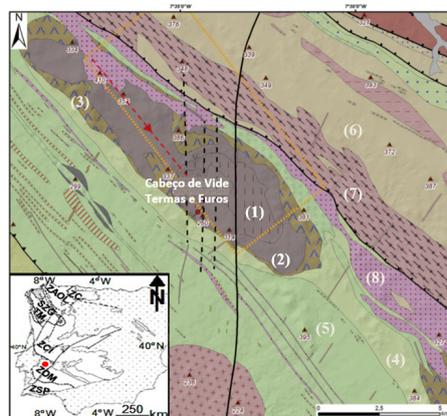


Fig. 1. Localização e mapa geológico da área de Cabeço de Vide (1) rochas ultramáficas serpentinizadas; (2) rochas máficas e ultramáficas; (3) corneanas; (4) rochas calcárias, exibindo metamorfismo de contato; (5) rochas câmbrias: xistos, quartzitos e grauvaques; (6) rochas pré-câmbrias: xistos metamórficos e grauvaques; (7) ortognaisses e (8) ortognaisses e sienitos hipercalcalinos. “Termas” indica a localização das nascentes e furos de captação das águas minerais de Cabeço de Vide. Adaptado de Marques et al. (2018).

3. SERPENTINIZAÇÃO ACTIVA E EVIDÊNCIAS GEOQUÍMICAS

Os dados geoquímicos sugerem que a serpentinização activa que ocorre em profundidade, é promovida pela interacção água meteórica - rochas ultramáficas (ver Fig. 2), sendo responsável pelas assinaturas físico-químicas das águas minerais de Cabeço de Vide: pH > 11,5, fácies Cl-Na/OH-Ca, temperatura de emergência entre 17 e 20 °C, condutividade eléctrica $\approx 550 \mu\text{S}/\text{cm}$, residuo seco $\approx 200 \text{ mg}/\text{L}$, $C_{\text{total}} < 3,0 \text{ mg}/\text{L}$ e concentrações extremamente baixas de Mg^{2+} e de sílica ($< 0,3$ e $5,6 \text{ mg}/\text{L}$, respectivamente). Marques et al. (2018) obtiveram as seguintes idades aparentes para as águas minerais de Cabeço de Vide: $1,5 \pm 1,2 \text{ ka BP}$ para o furo AC5 e $1,9 \pm 1,2 \text{ ka BP}$ para o furo AC3. As idades aparentes em radiocarbono suportam a hipótese de que as águas minerais de Cabeço de Vide apresentarem assinaturas de serpentinização activa em profundidade.

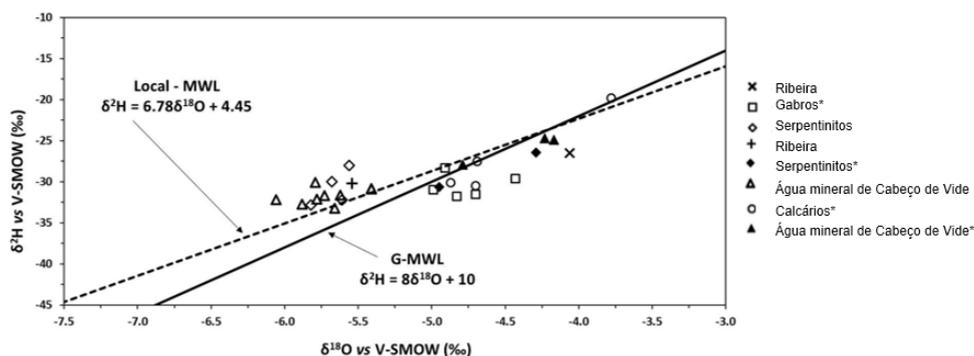


Fig. 2. Relação $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ em amostras de água da região de Cabeço de Vide. Adaptado de Marques et al. (2018). * Dados de Marques et al. (2008).

4. QUÍMICA E ORIGEM DO GÁS

Marques et al. (2018) confirmaram o enriquecimento em ^{13}C no CH_4 referido por Etiope et al. (2013), e baixas concentrações de CO_2 (entre 600 – 750 ppmv) e de H_2 ($\approx 10^{-2}$, concentração em % vol. - Yuichiro Ueno – *comun. pessoal*). De acordo com Etiope et al. (2013) e Marques et al. (2018), nas águas minerais de Cabeço de Vide as concentrações de metano (0,35 a 1,20 mg/L; 22 a 75 μM) e a sua composição isotópica ($-24,4 \text{ ‰} < \delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4 < -14,0 \text{ ‰}$ vs. V-PDB e $-285 \text{ ‰} < \delta^2\text{H}-\text{CH}_4 < -218 \text{ ‰}$ vs. V-SMOW) situam-se no intervalo de valores tipicamente observados em águas hipercalcalinas (Fig. 3), indicando uma origem abiótica para CH_4 .

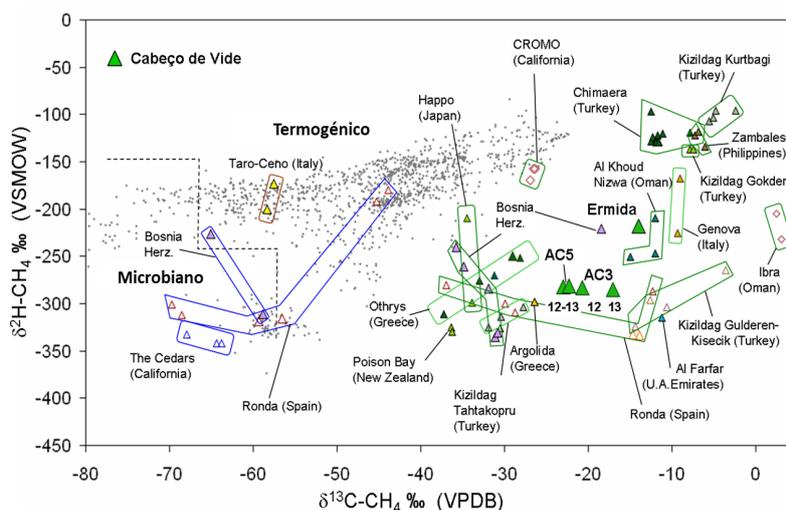


Fig. 3. Diagrama $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ vs. $\delta^2\text{H}_{\text{CH}_4}$ para as águas minerais de Cabeço de Vide, comparando com os campos de todos os gases bióticos vs. abióticos documentados (segundo Marques et al., 2018).

É de salientar ainda que, os cromatitos, que ocorrem na região em estudo (Dias et al., 2006) podem ter um papel importante na produção de CH_4 , dado conterem catalisadores, como o ruténio, que suportam reacções do tipo Fischer-Tropsch (reacção Sabatier) entre CO_2 e o H_2 , a baixa temperatura ($< 150\text{ }^\circ\text{C}$) (Etiope et al., 2017).

5. MICROBIOLOGIA

Marques et al. (2018) confirmaram que as águas minerais de Cabeço de Vide (Furo AC3) são dominadas por membros da classe *Clostridia*, filo *Firmicutes*, corroborando os resultados apresentados por Tiago e Verissimo (2013). O sequenciamento do gene 16S rRNA nas águas minerais de Cabeço de Vide (furo AC3) indicou a presença de '*Serpentinomonas mccroryi* cepa B1' (Marques et al., 2018), bactérias que conseguem oxidar hidrogénio gasoso. Deste modo, o consumo microbiano de H_2 pode ocorrer nas águas minerais de Cabeço de Vide (Marques et al., 2018). Por outro lado, a Archaea metanogénica não foi detectada, reforçando os resultados das análises isotópicas do metano referidos por Etiope et al. (2013) e Marques et al. (2018).

6. MODELO CONCEPTUAL DA ÁGUA MINERAL DE CABEÇO DE VIDE.

Marques et al. (2018) contribuíram para o desenvolvimento do modelo conceptual que permite explicar a origem e a evolução das águas minerais de Cabeço de Vide, associadas à serpentinização activa de rochas ultramáficas da região. Este modelo conceptual torna clara a dependência entre a geologia, a geoquímica e a microbiologia de sistemas hidrogeológicos associados a processos de serpentinização activa em ambiente continental.

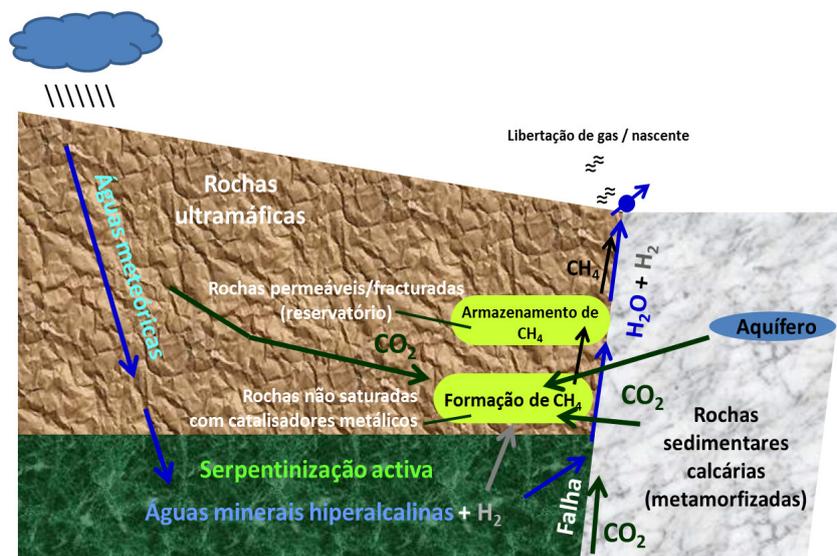


Fig. 4. Modelo conceptual de circulação das águas minerais de Cabeço de Vide, de acordo com o modelo proposto por Etiope et al. (2017) e baseado nos modelos de Marques et al. (2008, 2018).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos através de vários estudos, indicam que o processo de serpentinização activa das rochas ultramáficas é o principal responsável pelo desenvolvimento das águas minerais de Cabeço de Vide. Processos de interação água-rocha similares poderão ter ocorrido ou estar a ocorrer em Marte. Deste modo, Cabeço de Vide representa um análogo terrestre para Marte, fornecendo pistas sobre a possível formação de CH_4 abiótico associado a processos de serpentinização activa em Marte. O modelo conceptual de circulação apresentado para as águas minerais de Cabeço de Vide é igualmente válido para outros locais continentais terrestres associados a serpentinização activa e onde foi documentada a presença de águas hipercalinas e metano abiótico. No caso das águas minerais de Cabeço de Vide, a melhor compreensão do modelo conceptual de circulação associado a este recurso hidromineral ajudará a preservar a qualidade da água mineral e uma correcta gestão desse recurso.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi suportado por fundos da FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) / MEC (PIDDAC) no âmbito do projecto PTDC/AAG-MAA/2891/2012. O CERENA/IST reconhece o apoio da FCT através do projecto FCT-UID/ECI/04028/2019 e o C²TN/IST agradece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI / 04349/2013. Os autores gostariam de agradecer igualmente ao Eng^o L. Rocha, director técnico das Termas de Cabeço de Vide, pelo apoio durante as campanhas de trabalho de campo. Um agradecimento especial à Junta de Freguesia de Cabeço de Vide por todo o apoio logístico durante este estudo. Carla Rocha agradece a Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/105622/2015 à FCT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa IR, Barriga F, Mata J, Munhá JM (1993) Rodingitization and Serpentinization Processes in Alter do Chão Massif (NE Alentejo). Mem. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 3: 27-31.
- Dias PA, Leal Gomes C, Castelo Branco JM, Pinto Z (2006) Paragenetic positioning of PGE in mafic and ultramafic rocks of Cabeço de Vide – Alter do Chão Igneous Complex. In: Sociedade Geológica de Portugal (eds.) VII Congresso Nacional de Geologia Estremoz, Portugal: 1007-1010.
- Etiope G (2017) Abiotic methane in continental serpentinization sites: an overview. Procedia Earth Plan. Sci. 17, 9-12.

- Etiopie G, Samardžić N, Grassa F, Hrvatović H, Miošić N, Skopljak F (2017) Methane and hydrogen in hyperalkaline groundwaters of the serpentized Dinaride ophiolite belt, Bosnia and Herzegovina. *Applied Geochemistry*, 84: 286-296.
- Etiopie G, Vance S, Christensen LE, Marques JM, Ribeiro da Costa I (2013) Methane in serpentized ultramafic rocks in mainland Portugal. *Mar Petrol Geol*; 45: 12-6.
- Gonçalves F (1973) Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000 e notícia explicativa para a folha 32-B Portalegre. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Marques JM, Carreira PM, Carvalho MR, Matias MJ, Goff FE, Basto MJ, Graça RC, Aires-Barros L, Rocha L (2008) Origins of high pH mineral waters from ultramafic rocks, Central Portugal. *Appl Geochem*; 23: 3278-89.
- Marques JM, Etiopie G, Neves MO, Carreira PM, Rocha C, Vance SD, Christensen L, Miller AZ, Suzuki S (2018) Linking serpentization, hyperalkaline mineral waters and abiotic methane production in continental peridotites: an integrated hydrogeological-biogeochemical model from the Cabeço de Vide CH₄-rich aquifer (Portugal). *Applied Geochemistry*, 96: 287-301.
- Tiago I, Veríssimo A (2013) Microbial and functional diversity of a subterrestrial high pH groundwater associated to serpentization. *Environmental Microbiology*, 15 (6): 1687-1706.
- Russell MJ, Hall AJ, Martin W (2010) Serpentinization as a source of energy at the origin of life. *Geobiology*, 8: 355-437.

CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO CONCEPTUAL DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA MINERAL NATURAL DE CASTELO DE VIDE

Alexandre MORAIS ALMEIDA¹, Diana DIAS¹, Marta ALMEIDA¹, José Manuel MARQUES¹, Antunes da SILVA²

1. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1049-001 Lisboa, Portugal dianadias@tecnico.ulisboa.pt, jose.marques@tecnico.ulisboa.pt, moraisalmeida@tecnico.ulisboa.pt, martamelissa@tecnico.ulisboa.pt,

2. Super Bock Group, Apartado 1044, 4466-955 S. Mamede de Infesta, Portugal Antunesda.Silva@superbockgroup.com

RESUMO

A água mineral natural da Concessão Hidromineral de Ribeirinho e Fazenda do Arco (Castelo de Vide) é explorada pelo Super Bock Group, sendo comercialmente designada por Água Vitalis. A origem e circulação destas águas minerais naturais está diretamente associada ao sinclinal de Castelo de Vide que se desenvolve ao longo do limite Sul da Zona Centro Ibérica. A área de recarga deste sistema aquífero deverá coincidir fundamentalmente com os afloramentos dos quartzitos do Ordovício Inferior. Estas águas minerais naturais apresentam valores de baixa condutividade elétrica e pH ligeiramente ácido, tratando-se de águas hipossalinas. A proposta de modelo conceptual aqui apresentada assenta fundamentalmente no facto da assinatura cloretada-sódica destas águas ser explicada pela recarga preferencial da precipitação atmosférica e baixa temperatura de interação água-rocha.

Palavras-Chave: águas minerais naturais; águas hipossalinas; formações quartzíticas; modelo conceptual; Castelo de Vide

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo hidrogeológico conceptual do fluxo subterrâneo das águas minerais naturais da Concessão Hidromineral de Ribeirinho e Fazenda do Arco, na Serra de São Mamede, em Castelo de Vide, tendo por base as características hidrogeoquímicas das águas minerais naturais. A água mineral natural de Castelo de Vide, explorada pelo Super Bock Group, é designada por Água Vitalis. Este estudo nasceu da colaboração entre o Instituto Superior Técnico e a Super Bock Group. Realizou-se uma saída de campo à região de Castelo de Vide, em particular ao local dos furos de captação da água mineral natural Vitalis. Procedeu-se ao tratamento dos dados físico-químicos das águas relativos aos últimos 14 anos.

2. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO, CLIMATOLÓGICO E GEOLÓGICO

A região em estudo (Fig. 1) localiza-se no Parque Natural da Serra de São Mamede, no nordeste Alentejano, distrito de Portalegre. O território em estudo é maioritariamente constituído por rochas graníticas, sendo caracterizado por uma extensa planície, onde as altitudes variam entre 300 e 400 m (Feio & Almeida, 1980). Esta paisagem é marcada, em contraste, pela estrutura sinclinal onde sobressaem duas linhas de cumieira associadas às cristas quartzíticas ordovícicas da Serra de São Mamede, de orientação NW-SE ao longo de cerca de 40 km, atingindo altitudes superiores a 750 m (Monteiro & Silva, 1992). A geomorfologia singular desta região Alentejana influencia o clima local, verificando-se uma diminuição das temperaturas, uma menor insolação e ainda um acréscimo da precipitação.

A abundância de recursos hídricos nesta região está relacionada em parte com as condições climáticas, sendo que ocorre uma maior precipitação e uma menor evaporação, originando assim, uma maior infiltração eficaz (Monteiro, 1993). Os meses mais quentes são julho e agosto e os meses mais frios dezembro, janeiro e fevereiro. As temperaturas locais médias mínimas e máximas estão entre 2°C e 32°C, respetivamente. Monteiro & Silva (1992) calcularam a média anual de precipitação para esta região, cerca de 904 mm.

O sinclinal de Castelo de Vide desenvolve-se ao longo do limite Sul da Zona Centro Ibérica (ZCI) limitada a SW pelo cavalgamento de Portalegre-Ferreira do Zêzere. Este sinclinal, apresenta formações xisto-grauváquicas no seu

núcleo, sendo envolvidas por formações quartzíticas do Ordovício Inferior, que contactam os granitos hercínicos de Nisa, para NE, e os granitos tectonizados ante-hercínicos de Portalegre, para SW (Monteiro et al., 1997). Na região em estudo, as cristas quartzíticas do Ordovício Inferior, onde se inserem os furos de captação da água Vitalis, são resultantes do processo de erosão diferencial por apresentarem maior dureza e resistência superior à das rochas envolventes. Os quartzitos apresentam-se fortemente fraturados com várias famílias de discontinuidades que permitem o fluxo de água subterrânea (Fernandes et al., 1973). As arcoses estão inseridas num sinclinal assimétrico com a charneira inclinada para NW e orientada segundo a direção NW-SE. O núcleo do sinclinal é constituído por aluviões atuais, depósitos de vertente e de fundo de vale datados do Holocénico, seguidos por uma camada de xistos do Silúrico superior.

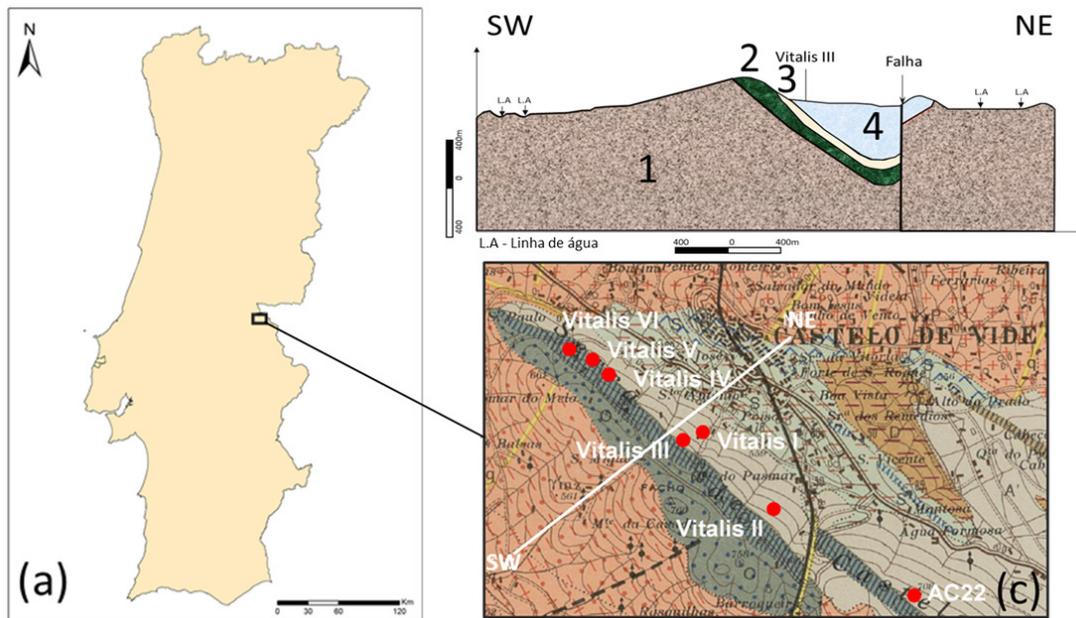


Fig. 1.(a) Localização Geográfica da região em estudo; (b) Corte Geológico 1- Granitos, 2- Arcoses, 3- Crista quartzítica, 4- Xisto; (c) Locais de Amostragem (geologia retirada de Fernandes et al., 1973).

3. HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO EM ESTUDO

A área de recarga do sistema aquífero associado à água Vitalis deverá coincidir fundamentalmente com a área de afloramento dos quartzitos do Ordovício Inferior (Figs. 1 e 2). Esta formação apresenta-se fortemente fraturada, o que facilita a infiltração direta da precipitação, bem como o fluxo da água subterrânea pela abertura das discontinuidades, nomeadamente planos de estratificação e fraturas, existentes.



Fig. 2. Vista geral das características geomorfológicas de Castelo de Vide. Foto de Marta Almeida.

4. ASSINATURAS GEOQUÍMICAS DA ÁGUA VITALIS: INTERACÇÃO ÁGUA-ROCHA

A caracterização do quimismo da massa de água mineral natural Vitalis foi efetuada com base nos dados químicos das captações, fornecidas pela Super Bock Group, entre o período de 2003 a 2017. As águas minerais naturais Vitalis apresentam valores de baixa condutividade elétrica ($29 < \text{Cond} < 76,95 \mu\text{S}/\text{cm}$) e pH ligeiramente ácido ($4,69 < \text{pH} < 6,03$). A fácies Na-Cl é explicada através da recarga preferencial pela precipitação atmosférica e baixa temperatura de interação água - rochas quartzíticas. No diagrama Na vs. Cl da Figura 3a é perceptível a “evolução” do sistema de circulação das águas minerais naturais Vitalis. Observa-se um aumento de mineralização de SE (captações I, II, III e AC22) para NW (captações IV, V e VI), estando as captações IV, V e VI a captar água mineral natural cuja recarga é efetuada ao longo de todo o afloramento quartzítico, admitindo que a maior parte do Na^+ e Cl^- são provenientes da precipitação atmosférica (recarga).

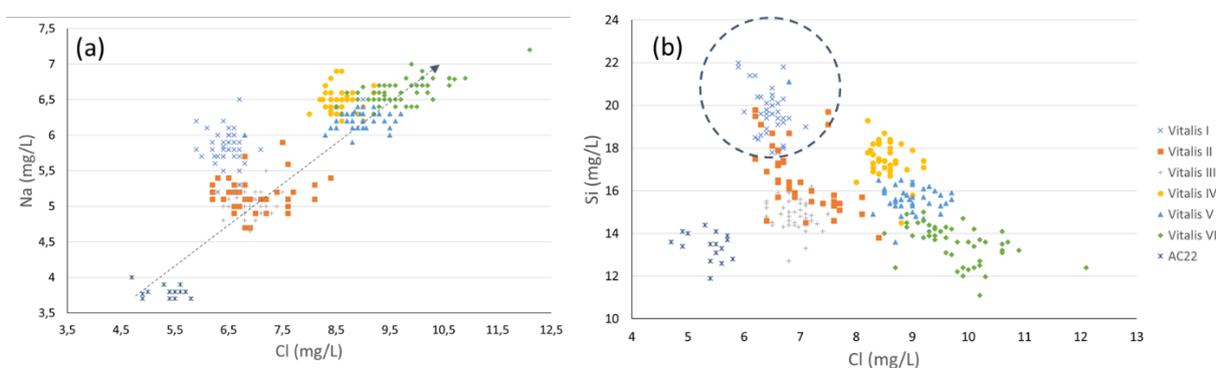


Fig. 3. Diagramas (a) Na vs.Cl e (b) Si vs. Cl para as águas em estudo.

Através da análise do diagrama da Figura 3b, não é possível verificar um aumento gradual de Si nas águas minerais naturais das captações localizadas a SE para as localizadas a NW. Este facto sugere a possibilidade de ocorrência de recarga lateral. O facto de as captações I e II apresentarem os valores mais elevados de Si poderá evidenciar a existência de recarga lateral, proveniente dos granitos (e eventualmente das arcoses), controlada por zonas de maior fracturação e por falhas. O Si poderá estar associado à hidrólise dos feldspatos dos granitos e/ou arcoses, sendo libertado para as águas pela transformação dos feldspatos em minerais argilosos.

5. MODELO CONCEPTUAL DE CIRCULAÇÃO: CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O funcionamento de um sistema hidrogeológico pode ser representado mediante o desenvolvimento de um modelo conceptual, ou seja, através de uma construção mental, resultante da interpretação da informação disponível num dado momento. A modelação conceptual implica a assumpção de simplificações, fundamentais para facilitar a aplicabilidade do modelo, as quais devem ser, tanto quanto possível, restringidas de forma a garantir o rigor da representação (Fetter, 2001). Com base nos resultados preliminares obtidos, é possível compreender que no caso da massa de água mineral natural Vitalis a recarga do sistema hidromineral é feita, fundamentalmente a partir da precipitação atmosférica ao longo da crista quartzítica (Fig. 4). A forte fracturação das formações quartzíticas facilita a infiltração e subsequente fluxo subterrâneo. A presença de formações impermeáveis, como os xistos do Silúrico superior, favorece a circulação subterrânea ao longo das formações quartzíticas, sendo o sentido de fluxo de SE para NW (a profundidades não muito grandes tendo em conta a temperatura a que as águas são captadas), favorecido pelo facto da charneira do sinclinal inclinar ligeiramente para NW. Existem dados geoquímicos que apontam para que a falha não funcione como barreira hidrogeológica, porém, os dados não são suficientes para uma conclusão mais assertiva.

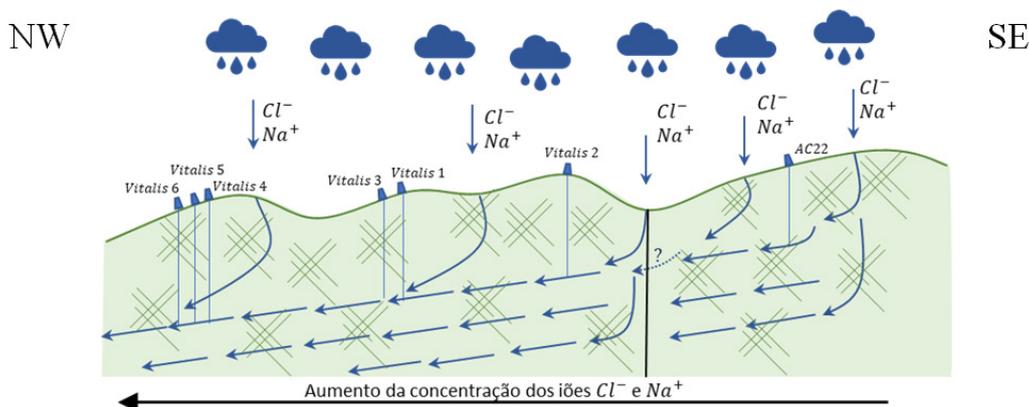


Fig. 4. Modelo conceptual de circulação da água mineral natural Vitalis ao longo dos quartzitos (sem escala).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares obtidos no âmbito deste estudo parecem indicar que o perfil hidroquímico da água mineral natural Vitalis resulta essencialmente da interação das águas meteóricas com as formações quartzíticas da região em estudo, considerando que o sentido do fluxo subterrâneo (SE-NW) promove um aumento gradual da concentração dos iões Cl^- e Na^+ nas águas minerais naturais. No entanto, não será de excluir a possível contribuição de recarga lateral associada aos granitos e arcoses (flanco oeste do sinclinal). No futuro, será fundamental promover o desenvolvimento de uma abordagem baseada na hidrologia isotópica de modo a aprofundar o conhecimento acerca da recarga, circulação subterrânea e idade aparente das águas minerais naturais Vitalis.

AGRADECIMENTOS

A.M. Almeida, D. Dias e M. Almeida agradecem à Super Bock Bebidas, S.A. pela oportunidade de estágio concedida. J. Marques reconhece o apoio da FCT através do projeto FCT-UID/ECI/04028/2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Feio M, Almeida G (1980) A serra de S. Mamede. Finisterra, 15 (29), 30-52
- Fernandes AP, Perdigão JC, Carvalho HF, Peres AM (1973) Notícia Explicativa da Folha 28 D - Castelo de Vide, Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50000. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa.
- Fetter CW (2001) Applied Hydrogeology. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, 598 pp.
- Monteiro JP, Silva ML (1992) Aspectos da Hidrogeologia e Qualidade das Águas Associadas à formação Carbonatada de Escusa (Castelo de Vide). Revista de Geologia Económica Aplicada e do Ambiente (GEOLIS), Secção de Geologia Económica e Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 6, 19-32.
- Monteiro JP (1993) Hidrogeologia da Formação Carbonatada de Escusa (Castelo de Vide). Lisboa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Departamento de Geologia, Dissertação de Mestrado.
- Monteiro JP, Silva ML, Carreira PM, Soares AM (1997) Aplicação de Métodos Geoquímicos Isotópicos à Interpretação da Hidrodinâmica do Aquífero Carbonatado da Serra de S. Mamede (Castelo de Vide) [Application of isotope geochemical methods to the hydrodynamics interpretation of the Serra de S. Mamede (Castelo de Vide) carbonate formation]. In: VII Congresso de Espanha de Geoquímica, Ed. Cedex (pp. 544-551).

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SNIRH PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Nuno BARREIRAS¹, Francisco NUNES CORREIA¹, Rafaela SALDANHA MATOS²

1. CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, nuno.barreiras@tecnico.ulisboa.pt, fnc@tecnico.ulisboa.pt

2. LNEC, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, rmatos@lnec.pt

RESUMO

Com a publicação dos Princípios da OCDE para a Governança da Água em 2015 ficou bem patente a importância que os dados e informação atualizada e transparente têm para a gestão e governança, evidenciada pelo Princípio 5. De acordo com esse princípio, e de modo a avaliar o desempenho do SNIRH para as águas subterrâneas foi elaborado um inquérito para a quantificação da percepção que os seus utilizadores têm do seu desempenho e também da oportunidade de partilharem de maneira anónima a sua experiência e avaliação pessoal. A definição e organização do inquérito tem por base o modelo de DeLone & McLean para a avaliação do sucesso de sistemas de informação, que foi adaptado para este estudo de modo a avaliar o sucesso de sistemas de informação geográfica em contexto de governança de águas subterrâneas. O inquérito caracteriza cinco dimensões (qualidade da informação, qualidade do sistema, uso do sistema, satisfação do utilizador, benefícios perceptíveis) que compõem o modelo, e foi enviado para várias partes interessadas no setor das águas subterrâneas. Para a aplicação e resolução do modelo, recorreu-se a um modelo de equações estruturais que permitiu não só identificar as relações entre as várias dimensões, tal como o seu desempenho para as necessidades dos seus utilizadores, e também distinguir as dimensões que têm mais impacto na percepção dos benefícios para os utilizadores.

Palavras-Chave: Sistema de informação; Águas subterrâneas; Governança.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) é o principal sistema de informação *online* que disponibiliza ao público dados sobre os recursos hídricos e meio ambiente relacionado, e está atualmente sob a tutela da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Com a publicação dos Princípios da OCDE para a Governança da Água (OECD, 2015)2012a ficou bem patente a importância que os dados e informação atualizada e sua partilha de forma transparente têm para a gestão e governança, evidenciada pelo Princípio 5: Produzir, atualizar e partilhar em tempo útil dados e informação consistentes, comparáveis e politicamente relevantes para as políticas da água e com ela relacionada, e usá-los para orientar, avaliar e melhorar essas políticas.

Como tal, neste estudo, propôs-se avaliar de uma maneira quantitativa o sucesso do SNIRH, como sistema de informação, e averiguar o seu desempenho mediante os seus objetivos e funções no contexto das águas subterrâneas. Este tipo de avaliação pode ser descrito como uma medida para colmatar a lacuna de informação, identificada pela OCDE, que implica medir a eficácia dos Sistemas de Informação em seus respectivos setores e identificar as assimetrias de informação ao nível da quantidade e qualidade, entre os diferentes atores envolvidos na política de água, seja voluntária ou não.

Para isso, existem vários esforços recentemente desenvolvidos que sublinham a importância dos sistemas de informação e bases de dados partilhados para a governança da água, mas a literatura existente sobre o assunto é apenas parcialmente aplicável às águas subterrâneas. No entanto, estes estudos mostram que há várias abordagens possíveis à avaliação dos sistemas de informação existentes que poderiam ser aplicados em vários setores da água. Uma dessas abordagens e ponto de partida para o desenvolvimento deste estudo é o modelo de DeLone & McLean (DeLone & McLean, 2003) para a avaliação do sucesso de um sistema de informação, que pela vasta aplicação e adaptação em variadas áreas, exemplificadas em muitas publicações na literatura (consultar Urbach and Müller, 2012), se evidencia como o modelo ideal a aplicar.

2. METODOLOGIA E RESULTADOS

2.1 Especificação do modelo DeLone & McLean

O modelo atualizado de DeLone e McLean (DeLone e McLean, 2003) para a avaliação do sucesso de um sistema de informação baseia-se em seis dimensões inter-relacionadas de sucesso e são a Qualidade da Informação, do Sistema e do Serviço; Intenção de Uso; Satisfação do Utilizador; e Benefícios. O modelo pode ser interpretado como um sistema que é avaliado em termos de informação, sistema e qualidade de serviço. Essas características afetarão o uso subsequente ou a intenção de o usar e a satisfação do utilizador. Certos benefícios serão alcançados usando o sistema. Os benefícios influenciarão de forma positiva ou negativa a satisfação do utilizador e o uso mais frequente do sistema de informação.

De modo a especificar o modelo ao contexto da governança de águas subterrâneas, foram feitas as seguintes considerações:

No contexto do estudo não se considerou que a qualidade de serviço é uma dimensão muito significativa.

Para um sistema de informação partilhado em contexto de governança de águas subterrâneas, propõe-se a utilização da dimensão Uso do Sistema (Utilidade e Adequabilidade) como forma de definir a medida em termos de adequação, acessibilidade, participação pública e sociedade (Eldrandaly et al., 2015; Franz and Robey, 1986; Nedovic-Budic, 1999).

Foi adotada uma dimensão Benefícios Perceptíveis focado nos critérios de avaliação ao nível da compreensão, eficiência e eficácia, ou seja, o que o utilizador entende como benefício, e o que compreende como palpável (Eldrandaly et al., 2015; Nedovic-Budic, 1999; Wang and Liao, 2008)processing, dissemination, and communication. Yet, initial evidence on the implementation of GIS technology in local governments and planning agencies points to difficulties in getting the systems established and in realizing expected benefits. Technological, database, and organizational factors make it most challenging to get a GIS to fit and adapt to the needs of planning practice. The main sources of evidence to guide the mutual adjustment between GIS technology and planning are evaluative studies of existing systems that examine how these GISs affect planning processes and functions. To date, these studies are scarce. To promote and facilitate assessment of GIS technology in the planning context, this article reviews the frameworks, methods, and criteria that are employed in the fields of organizational studies, information management, and decision support systems.”, ”author”:[{“dropping-particle”：“”, ”family”：“Nedovic-Budic”, ”given”：“Zorica”, ”non-dropping-particle”：“”, ”parse-names”：false, ”suffix”：“”}], ”container-title”：“Journal of Planning Literature”, ”id”：“ITEM-1”, ”issue”：“3”, ”issued”：{“date-parts”：[[“1999”]]}, ”page”：“284-295”, ”title”：“Evaluating the Effects of GIS Technology : Review of Methods”, ”type”：“article-journal”, ”volume”：“13”}, ”uris”：[“http://www.mendeley.com/documents/?uuid=bca1cb09-106f-40d0-9db5-02386330131b”]},{“id”：“ITEM-2”, ”itemData”：{“DOI”：“10.1016/j.giq.2007.06.002”, ”ISBN”：“0740-624X”, ”ISSN”：“0740624X”, ”PMID”：“34296958”, ”abstract”：“With the proliferation of the Internet and World Wide Web applications, people are increasingly interacting with government to citizen (G2C.

Os Benefícios Perceptíveis dependem da Satisfação do Utilizador e do Uso do Sistema, o impacto dos Benefícios Perceptíveis em direção ao Uso do Sistema e para a Satisfação do Utilizador foram excluídos do modelo atualizado de DeLone e McLean (2003).

Portanto, as dimensões consideradas para o modelo proposto são Qualidade do Sistema, Qualidade da Informação, Uso do Sistema (Utilidade e Adequabilidade), Satisfação do Utilizador e Benefícios Perceptíveis (Figura 1).



Figura 1 – Especificação do modelo DeLone & McLean (2003) para avaliar o desempenho dos sistemas de informação no contexto de governança de águas subterrâneas

2.2 Inquérito para o estudo sobre o SNIRH e a governança de águas subterrâneas em Portugal

Para cada dimensão foram definidos critérios de avaliação e uma medida correspondente (Tabela 1). De modo a quantificar os itens de cada dimensão/critério foi elaborado um inquérito que engloba todos os critérios definidos. O inquérito foi desenhado para ser respondido mediante uma escala Likert (1-Discordo totalmente, 2-Discordo em parte, 3-Não concordo nem discordo, Concordo em parte, Concordo totalmente) e ainda com uma opção “Não sei”, que atribui uma quantificação a cada medida dos critérios de avaliação. O inquérito foi divulgado com a ajuda da APRH, IAH-PT, APA, PPA e IST, para chegar ao maior número de pessoas possível que trabalhem nas áreas relacionadas com águas subterrâneas e que estejam familiarizadas com o SNIRH, alcançado assim 111 respostas válidas.

Tabela 1 – Medidas do modelo

Dimensão	Critério de Avaliação	Itens de Medida	Code
Qualidade do Sistema	Tempo de resposta	Dados são disponibilizados rapidamente	SQ1
	Operabilidade	Os métodos são adequados	SQ2
	Facilidade de uso	Fácil de aprender	SQ3
Qualidade da Informação	Detalhe	Dados suficientes e consistentes	IQ1
	Relevância	Dados são relevantes	IQ2
	Atualização	Dados atualizados	IQ3
	Confiável	Dados de confiança	IQ4
	Escala	Dados harmonizados e consistentes à escala de cada aquífero	IQ5
Uso do Sistema	Relatório	O tipo e a frequência dos relatórios/documentos disponíveis são adequados	U1
	Accessibilidade	Dados são relevantes e compreensíveis para diferentes níveis de utilizadores e partes interessadas	U2
	Participação pública	O Sistema promove a participação pública	U3
	Sociedade	O sistema promove transparência, confiança e comparabilidade de dados/informação	U4
Satisfação do utilizador	Satisfação geral	Satisfação global	GS1
Benefícios Perceptíveis	Compreensão	O Sistema proporciona melhor compreensão dos problemas	NB1
	Eficiência	Contribui para a melhoria e execução do seu trabalho	NB2
	Eficácia	Reduz riscos no processo de tomada de decisão	NB3

O principal ponto a sublinhar, e de acordo com os resultados, é a observação dos itens que tiveram maior expressão na opção “1 - Discordo totalmente” relativos às medidas IQ1 (Detalhe) e o IQ3 (Atualização), e que dizem respeito a “Dados suficientes e consistentes” e “Dados atualizados” respectivamente. Estes dois itens são também aqueles que alcançam 34% das respostas para a opção “2-Discordo em parte”. Isto quer dizer que a dimensão Qualidade da Informação, à data do inquérito, apresentava sérios desafios em relação a esta matéria.

Os itens SQ1 (Tempo de Resposta), SQ2 (Operabilidade), SQ3 (Facilidade de uso), IQ2 (Relevância), IQ5 (Escala), U1 (Relatório) e U2 (Acessibilidade) também mostram que a soma das opções “1 - Discordo totalmente” e “2-Discordo em parte” estão acima de 20 respostas de 111. Apesar de não serem tão significativas quanto as medidas mencionadas anteriormente (IQ1 e IQ3), essa soma de respostas discordantes pode representar até 31%, como para o caso de U1 (Relatório).

2.3 Aplicação de equações estruturais ao modelo proposto

Um dos desafios deste estudo foi transformar os dados empíricos do inquérito em dados quantificáveis, e para isso recorreu-se a um modelo de equações estruturais. Deste modo foi possível quantificar as relações entre as variáveis, tal como o seu desempenho para as necessidades dos seus utilizadores, e também distinguir as dimensões que têm mais impacto na percepção dos benefícios para os utilizadores. As propriedades das relações causais, incluindo os impactos diretos, valores de p e coeficientes de determinação (R^2) explicados para cada equação no modelo hipotético, são apresentadas na Figura 2.

Como esperado, a Qualidade da Informação tem uma influência significativa no Uso do Sistema e na Satisfação Global. A Qualidade do Sistema tem um impacto significativo na Satisfação Global e no Uso do Sistema. A Qualidade da Informação tem um impacto mais forte do que a Qualidade do Sistema no Uso do Sistema e na Satisfação Global. Além disso, o Uso do Sistema teve uma influência significativa na Satisfação Global e no Benefício Perceptível. Finalmente, a Satisfação Global parece ter um impacto significativo no Benefício Perceptível.

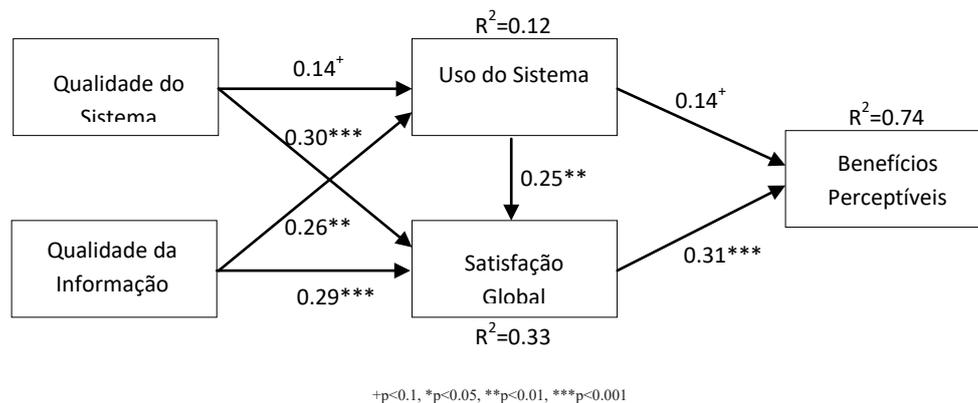


Figura 2 – Resultados do modelo de equações estruturais

CONCLUSÕES

Conclui-se que a aplicação do modelo DeLone e McLean para avaliação do SNIRH foi bem sucedida, não só pela definição de um modelo de avaliação a um sistema de informação em contexto de governança de águas subterrâneas, mas também pelas indicações claras que os inquiridos deram em relação ao desempenho do SNIRH, à data de divulgação do inquérito, no que diz respeito à Qualidade do Sistema. As medidas que mais fortemente indicaram uma necessidade de intervenção são relativos à suficiência e consistência dos dados, tal como a atualização dos mesmos. Outras áreas a necessitar de revisão são o tempo de resposta, a operabilidade do sistema, a facilidade de uso, a relevância dos dados, a escala, o tipo de relatório disponibilizados e a acessibilidade. Por outro lado, de acordo com as respostas e com a análise feita, as dimensões Qualidade do Sistema e Informação influenciam positivamente a Satisfação do Utilizador, que por sua vez é a dimensão com maior impacto direto na percepção dos benefícios.

AGRADECIMENTOS

Este estudo está enquadrado no programa de doutoramento H2Doc e é financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia. Agradecimentos ao Manuel Oliveira (LNEC), Rui Rodrigues (LNEC), Teresa Condesso de Melo (CERIS

- IST) e Luís Ribeiro (CERIS-IST) pela revisão do inquérito. Fica também um obrigado a todas as instituições que ajudaram na divulgação do inquérito e às pessoas que o responderam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DeLone, W.H., McLean, E.R., 2003. The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *J. Manag. Inf. Syst.* 19, 9–30. <https://doi.org/10.1080/07421222.2003.11045748>
- Eldrandaly, K.A., Naguib, S.M., Hassan, M.M., 2015. A Model for Measuring Geographic Information Systems Success. *J. Geogr. Inf. Syst.* 7, 328–347. <https://doi.org/10.4236/jgis.2015.74026>
- Franz, C.R., Robey, D., 1986. Organizational context, user involvement, and the usefulness of information systems. *Decis. Sci.* 17, 329–356. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1986.tb00230.x>
- Nedovic-Budic, Z., 1999. Evaluating the Effects of GIS Technology : Review of Methods. *J. Plan. Lit.* 13, 284–295. <https://doi.org/10.1177/08854129922092405>
- OECD, 2015. Princípios da OCDE para a Governança da Água.
- Urbach, N., Müller, B., 2012. The Updated DeLone and McLean Model of Information Systems Success BT - Information Systems Theory: Explaining and Predicting Our Digital Society, Vol. 1, in: Dwivedi, Y.K., Wade, M.R., Schneberger, S.L. (Eds.), Springer New York, New York, NY, pp. 1–18. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_1
- Wang, Y.S., Liao, Y.W., 2008. Assessing eGovernment systems success: A validation of the DeLone and McLean model of information systems success. *Gov. Inf. Q.* 25, 717–733. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2007.06.002>

AQUÍFEROS E MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SETOR SUDOESTE DO CONCELHO DA MEALHADA

Pedro NEVES¹, José Manuel AZEVEDO^{2,3}, Ana Maria CASTILHO^{2,4}

1. CTGA – Centro Tecnológico de Gestão Ambiental, Lda. - CTGA, Rua dos Morais, 3045-487 Coimbra, Portugal; pedrodaniel.neves21@gmail.com

2. Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - FCTUC; Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal;

3. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra; jazevedo@uct.uc.pt

4. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra; amcastil@uct.uc.pt

RESUMO

No domínio em estudo evoluem diversas unidades aquíferas de natureza geológica e de regimes hidráulico e hidroquímico muito diferenciados. As mais importantes pertencem aos Sistemas aquíferos do Cársico da Bairrada-O3, de Tentúgal-O5 e do Luso-A12. As unidades aquíferas cretácicas pertencentes ao Sistema de Tentúgal, para além de constituírem importantes recursos hídricos regionais e locais, têm um papel decisivo na recarga das unidades mais profundas e de natureza carbonatada do Sistema Cársico da Bairrada. As unidades pertencentes ao Sistema aquífero do Luso são de natureza fissurada, quartzítica, sendo a recarga feita a partir de setores localizados a S e SE da zona em estudo. Para além das unidades aquíferas pertencentes aos Sistemas acima referidos, ocorre no domínio em referência um número considerável de unidades freáticas, de escala local, associadas aos depósitos siliciclásticos do Cenozóico. Estes aquíferos não-confinados apresentam dimensões variadas, ocorrendo a recarga maioritariamente, por infiltração e por descarga das linhas de água no período invernal. Embora comportando um armazenamento hídrico reduzido quando comparado com os volumes armazenados nas unidades mais produtivas dos Sistemas aquíferos locais, apresentam elevada importância: (1) na recarga aquífera regional; (2) na estabilidade das massas de água superficiais; e (3) nas práticas agrícolas locais.

Palavras-Chave: Mealhada; Hidrogeologia; Sistemas aquíferos; Aquíferos freáticos.

1. INTRODUÇÃO

As massas de água subterrânea constituem em muitas regiões importantes recursos hídricos. No domínio em análise - setor SW do Concelho da Mealhada – ocorrem unidades aquíferas e massas de água profundas e de escala regional a par de outras pouco profundas e de escala local. As primeiras são usualmente mais estudadas. Contudo, as segundas são, em muitas situações e particularmente no domínio estudado, vitais para a sustentabilidade ambiental e para o normal desenvolvimento das atividades humanas locais e regionais. Assim, a caracterização hidrogeológica dos aquíferos menos profundos, muitas vezes não-confinados, constitui a par com o estudo dos mais profundos, confinados e semi-confinados, uma ferramenta indispensável para a correta gestão e para a exploração sustentada das massas de água subterrânea.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

O domínio em estudo possui uma área plana de 38 km² e corresponde à Bacia hidrográfica da Ribeira de Canedo (BhRC). Insere-se na Bacia hidrográfica do rio Vouga e na sub-bacia do rio Cértima. Tem como principal núcleo populacional a Vila de Pampilhosa do Botão.

Este domínio expressa acentuada variabilidade geológica e geocronológica. Inclui formações com idades que oscilam entre o Pré-câmbrico e o Cenozóico. As formações mais antigas de natureza metamórfica pertencem ao Maciço Antigo

e localizam-se a E. Estão separadas, pela Falha Porto-Tomar, das formações mais recentes de natureza sedimentar pertencentes à Orla Mesocenozóica Ocidental. Todo o domínio apresenta um forte controlo estrutural.

De acordo com os elementos do mapa geológico de Dinis (2004), complementadas com observações de campo, confirma-se que: (1) as formações pré-câmblicas e paleozóicas são de natureza metamórfica, cristalina e apresentam-se maioritariamente muito alteradas; (2) as formações mesocenozóicas incluem unidades detríticas e carbonatadas do Triásico, Jurássico e Cretácico; as formações de idades plio-quadernárias são exclusivamente de natureza detrítica, com estrutura móvel ou muito pouco litificada (Neves, 2017) (Fig. 1).

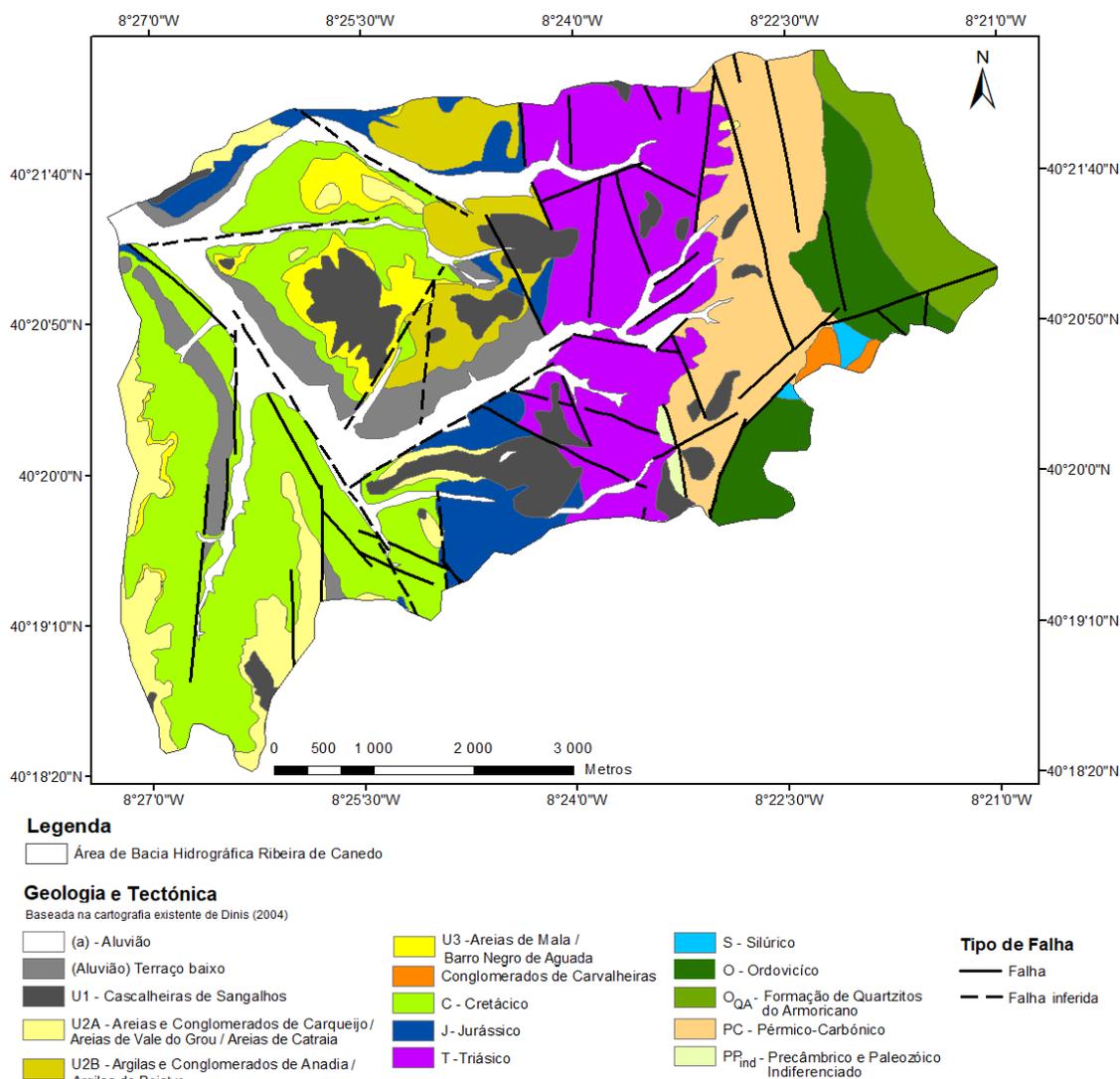


Figura 1: Carta geológica do setor SW do Concelho da Mealhada (construída em *software ArcGis® 10.2.2*, a partir da Carta geológica à escala 1:50.000 de Dinis, 2004).

3. HIDROGEOLOGIA

A área estudada inclui domínios das Unidades hidrogeológicas da Orla Ocidental e do Maciço Antigo. No sector central e no extremo SW ocorrem unidades aquíferas pertencentes aos Sistemas aquíferos de Tentúgal-O5 e Cársico da Bairrada-O3. No sector oriental ocorrem formações quartzíticas do Sistema aquífero Luso-A12 (Figura 2).

Estes aquíferos estão maioritariamente implantados em depósitos sedimentares plio-quadernários (Dinis, 2004) (Fig. 3): Cascalheiras de Sangalhos (U1), Areias e Conglomerados de Carqueijo (U2A), Argilas e Conglomerados de Anadia (U2B), e Areias de Mala (U3). Com base fundamentalmente em observações de campo e em medições *in situ*, verificou-se que estas unidades aquíferas são freáticas, por vezes do tipo suspenso, apresentam regime não-confinado e, na maioria dos casos, expressam acentuadas oscilações anuais do nível piezométrico. A recarga resulta maioritariamente da infiltração associada à precipitação local. A recarga de algumas unidades é feita por drenância a partir de aquíferos superiores e por transferência hídrica de linhas de água e charcos (Neves, 2017).

A descarga natural efetua-se por evapotranspiração, por exurgências, drenância para aquíferos mais profundos e por transferência para linhas de água e charcos no período estival. A descarga induzida ocorre por captação direta – poços, furos e “minas de água” – e indireta – captação de massas de água superficiais.

CONCLUSÕES

A importância das unidades aquíferas e massas de água profundas está bem registada em Almeida *et al.* (2000) e PGBH4 (2012), assim como nos diversos furos existentes no domínio estudado. Contrariamente, as unidades aquíferas superiores, não-confinadas e de dimensão local, são geralmente pouco referenciadas na bibliografia. Contudo, apesar de comportarem massas de água de reduzida dimensão quando comparadas com as mais profundas dos Sistemas aquíferos regionais, apresentam elevada importância devido: (1) à estabilização da hidrodinâmica local, nomeadamente na regularização do escoamento superficial; (2) a promoverem a recarga dos Sistemas aquíferos regionais e das massas de água superficiais; e (3) a desempenharem um papel decisivo nas atividades antrópicas locais, nomeadamente nas práticas agrícolas de natureza familiar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Mendonça, J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Lisboa: Centro de Geologia / Instituto da Água.
- Barbosa, B., Soares, A. F., Rocha, R. B., Manuppella, G., Henriques, M. H. (1988). Notícia explicativa da Folha 19-A (Cantanhede) da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1/50 000. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- Base de Dados de Portugal Contemporâneo [PORDATA]. (2017). Disponível em <http://www.pordata.pt/O+que+sao+NUTS~> (acesso a 15 de Janeiro de 2018).
- Dinis, P. (2004). Evolução Pliocénica e Quaternária do Vale do Cértima. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 351p.
- Instituto Nacional de Estatística (2015). NTUS 2013, As Novas Unidades Territoriais para Fins Estatísticos. Disponível em: [http://www.poci-compet2020.pt/admin/images/NUTS2013_\(1\).pdf](http://www.poci-compet2020.pt/admin/images/NUTS2013_(1).pdf) (acesso a 15 de Janeiro de 2018).
- Neves, P. (2017). Hidrogeologia e avaliação dos recursos hídricos no setor sudeste do Concelho da Mealhada. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, 147p.
- Neves, P.; Azevedo, JM; Castilho, A. (2018). Sistema Aquífero de Tentúgal (O5): Proposta de redefinição do limite nordeste. In Proceedings do 14º Congresso da Água. Évora, 7 a 9 de março, 2018. 6 p.
- Neves, P.; Azevedo, JM; Castilho, A. (2018). Unidades aquíferas freáticas no sector sudoeste do Concelho da Mealhada - hidrogeologia e importância. In Proceedings do 14º Congresso da Água. Évora, 7 a 9 de março, 2018. 6 p.
- Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis integradas na Região Hidrográfica 4, [PGBH4]. (2012). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente [APA].

HIDROGEOLOGIA DO DEPÓSITO DELTÁICO DO RIO CATUMBELA (ANGOLA)

João HUVI^{1,3}, José Manuel AZEVEDO^{2,4}, Pedro DINIS^{2,3}

1. Instituto Superior de Ciências da Educação de Benguela, Universidade Katyavala Bwila, Angola; hjoaobaptistahuvi@yahoo.com.br

2. Departamento de Ciências da Terra, FCTUC -Universidade de Coimbra

3. MARE-Marine and Environmental Sciences Centre; Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra; pdinis@det.uc.pt

4. CITEUC-Centro de Investigação da Terra e do Espaço; jazevedo@det.uc.pt

RESUMO

Apresenta-se a caracterização e a modelação conceptual da hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (DDRC) com base na estratigrafia da sucessão sedimentar e na piezometria das unidades aquíferas superiores. No DDRC ocorrem vários domínios e níveis aquíferos. Os de maior dimensão e produtividade estão associados às unidades/fácies sedimentares de natureza areno-cascalhenta de canal fluvial e de praia. O escoamento subterrâneo evolui de E (domínios interiores) para W (linha de costa). A recarga aquífera resulta fundamentalmente da transferência de água do rio Catumbela e de valas perenes; durante a época das chuvas ocorre alguma infiltração. A descarga aquífera efetua-se maioritariamente para o mar; verifica-se ainda uma importante captação de água subterrânea em muitos setores do DDRC.

Palavras-Chave: Rio Catumbela (Angola), Delta, Estratigrafia, Hidrogeologia

1. INTRODUÇÃO

O Depósito Deltaico do Rio Catumbela (DDRC) localiza-se no litoral SW de Angola e constitui um importante reservatório natural de água subterrânea na região litoral de Benguela-Lobito, servindo como fonte de água fundamental para irrigação, abastecimento industrial e abastecimento doméstico a nível local e regional.

Assim, o seu estudo aos níveis estratigráfico e hidrogeológico proporciona ferramentas fundamentais para a correta gestão e para a exploração sustentada das massas de água subterrâneas que evoluem no DDRC.

2. ENQUADRAMENTO FÍSICO

2.1 Geográfico e climatológico

O domínio estudado situa-se junto à linha de costa centro-angolana, nomeadamente na foz da bacia hidrográfica do rio Catumbela (Fig. 1). A região exibe uma alternância de estações secas e chuvosas bem contrastadas. A estação chuvosa estende-se de outubro a abril e a precipitação atmosférica anual é usualmente inferior a 300 mm (Diniz, 2006).

2.2 Geológico

A construção deltaica do Catumbela apresenta uma pronunciada assimetria sublinhada pela presença de depósitos amalgamados de praia associados a cordões litorais do lado sul, contrastando com o lado norte, mais extenso e onde estes alternam à superfície com sedimentos de planície de inundação ou lagunares (Fig. 2). Trata-se de uma configuração típica de deltas dominados pela ondulação e fortemente condicionados por uma corrente de deriva litoral persistente num determinado sentido (Bhattacharya & Giosan, 2003). No caso presente, a deriva litoral regional é maioritariamente dirigida de sul para norte.

Segundo Huvi et al. (2018), a sucessão sedimentar comporta uma porção inferior com sedimentos de praia, por vezes intercalados com corpos de mangal/laguna. Estes conjuntos litorais são cobertos por sedimentos de planície de

inundação e de canal fluvial/distributário. Nas zonas mais ocidentais dominam os sedimentos de praia e lagunares, sendo os lagunares particularmente comuns na extremidade norte do delta, em associação com o mangal do Lobito. Esta organização configura uma situação clara de progradação do delta. A espessura dos sedimentos de praia não está definida com rigor, sabendo-se que, em média, deve ser superior a 20 m. A sua cota máxima diminui à medida que se avança para norte e oeste. Os sedimentos de mangal definem corpos pouco espessos entre conjuntos de praia ou na passagem destes para as unidades superiores com maior influência fluvial. Na generalidade da planície deltaica observa-se à superfície sedimentos de grão fino, definindo uma cobertura que geralmente não ultrapassa os 2 m de espessura. Os depósitos de canal fluvial mais espessos, que podem alcançar perto de 10 m, tendem a ser mais circunscritos lateralmente, definindo corpos incisivos no conjunto de praia inferior (Fig. 2). São particularmente comuns em duas faixas relativamente estreitas: uma onde hoje se posiciona o rio Catumbela e outra de orientação geral NNW-SSE, dirigida à região do Lobito.

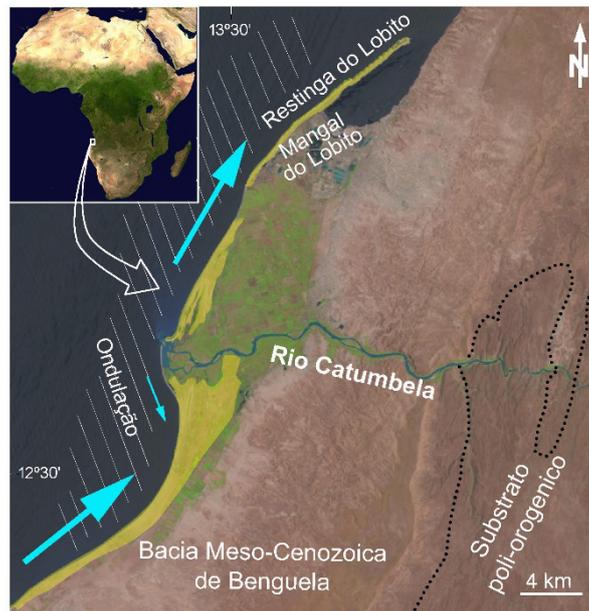


Fig. 1. Localização do domínio estudado - Depósito Deltaico do Rio Catumbela (DDRC) (Huvi et al., 2018).

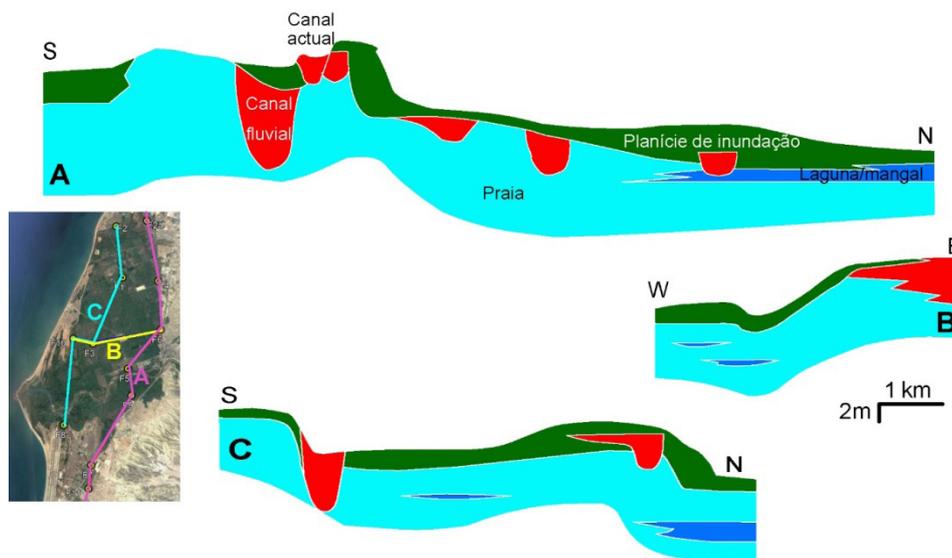


Fig. 2. Organização espacial das principais unidades estratigráficas do delta do Catumbela (Huvi et al., 2018).

3. HIDROGEOLOGIA

A caracterização e a modelação hidrogeológica conceptual do DDRC foi estabelecida, fundamentalmente, com base na estratigrafia da sucessão sedimentar e na análise de cartas piezométrica e de fluxo hídrico subterrâneo construídas com os resultados de 4 campanhas bianuais de medições do nível da água em 49 pontos: piezómetros, furos, poços e linhas de água.

No DDRC ocorrem vários domínios e níveis aquíferos. Os de maior dimensão e produtividade estão associados às unidades/fácies sedimentares de natureza areno-cascalhentas de canal fluvial e de praia. Este estudo incidiu maioritariamente na unidade aquífera superior, não-confinada e com ligação direta com as massas de água superficiais (rio, valas e corpos lagunares).

Genericamente, o escoamento subterrâneo evolui dos setores situados a E (interior) para W (linha de costa) (Fig.3).

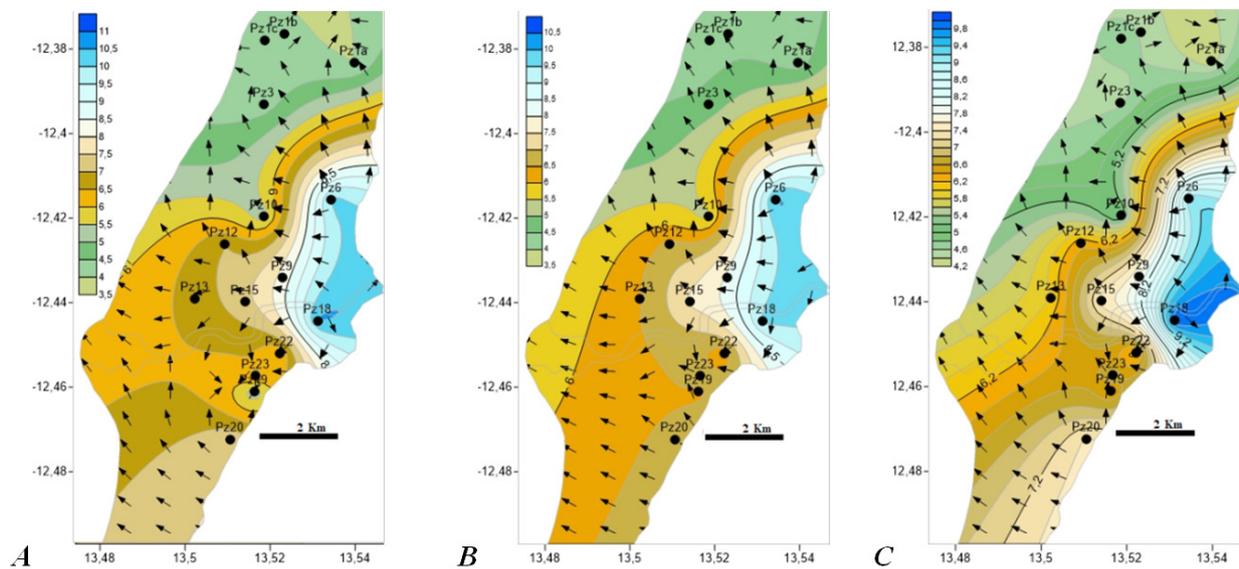


Fig. 3. Cartas piezométricas e de fluxo da zona em estudo: A- março 2014; B- novembro 2014; C- março 2015 (Huvi et al., 2018).

A recarga aquífera resulta fundamentalmente de: (1) transferência de água do rio Catumbela (perene) e de valas; (2) da infiltração que ocorre durante os períodos de chuva e (3) da descarga aquífera profunda a partir das formações do soco (unidades sedimentares do Cretácico ao Cenozoico). A descarga hídrica das massas de água que evoluem no DDRC efetua-se maioritariamente para o mar; contudo, nos meses mais secos ocorre transferência de água das unidades aquíferas para o rio Catumbela. Para além destes processos, verifica-se uma importante captação de água subterrânea em muitos setores do DDRC (Fig. 4).

CONCLUSÕES

Considerando que o DDRC apresenta uma área plana de 71,8 km², e admitindo para o meio aquífero uma espessura média saturada de 40 m e uma porosidade efetiva de 15%, obtêm-se valores muito consideráveis para a reserva permanente (cerca de 431 hm³) e para a reserva reguladora (cerca de 72 hm³, admitindo uma variação média anual do nível piezométrico de 6,7 m).

Atendendo ao enquadramento físico, local e regional, sobretudo aos níveis hidrológico (disponibilidades hídricas naturais muito limitadas) e antrópico (grande concentração populacional e elevada demanda de água para consumo doméstico, industrial e agrícola), as massas de água subterrâneas alojadas no DDRC adquirem uma importância crucial e, por isso, justificam a continuação do seu estudo, bem como uma gestão muito criteriosa e uma protecção permanente.

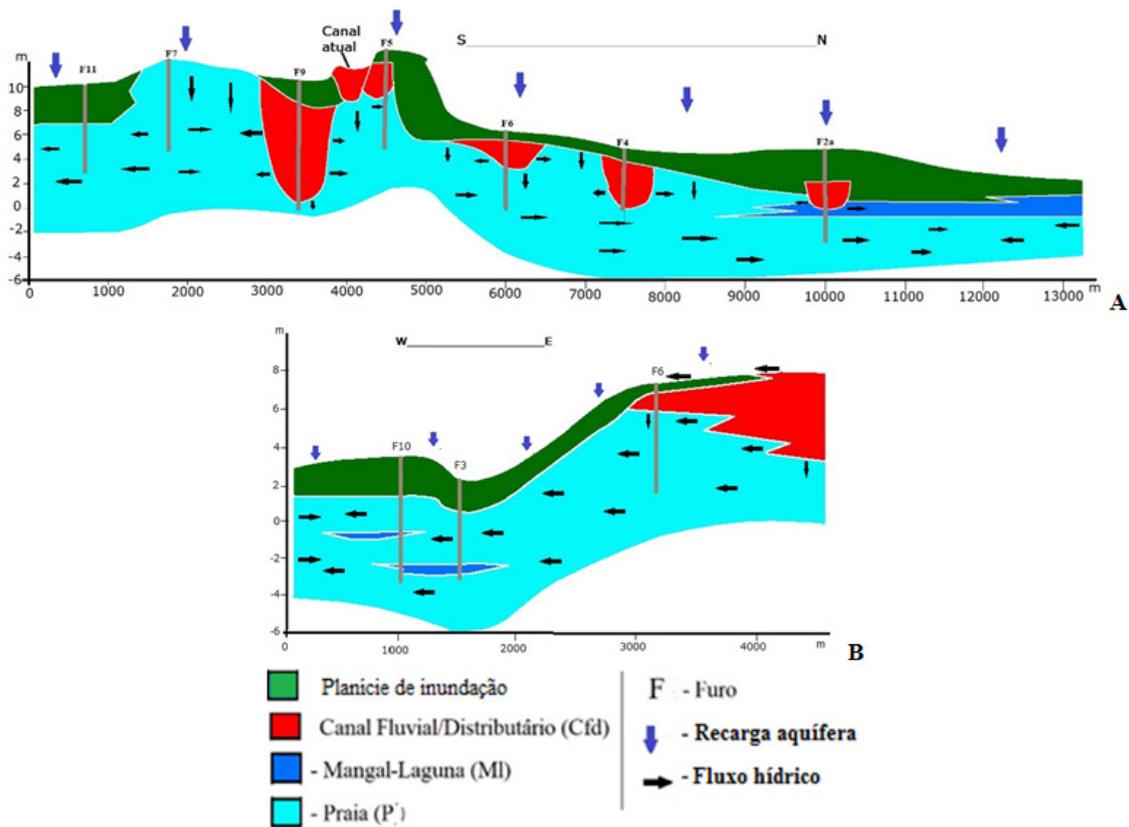


Fig. 4. Perfis hidrogeológicos no domínio em estudo - Depósito Deltaico do Rio Catumbela (DDRC): A –paralelo à linha de costa; B- perpendicular à linha costeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhattacharya, JP; Giosan, L (2003) Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology*, 50, 187-210.
- Diniz, AC (2006) Características Mesológicas de Angola. IPAD, Lisboa.
- Huvi, J (2018) Estratigrafia e Hidrogeologia do Depósito Deltaico do Rio Catumbela (Angola). Tese de doutoramento em Geologia. DCT-FCTUC, Universidade de Coimbra. 248p.
- Huvi, J; Dinis, P; Azevedo, JM (2018) Estratigrafia do Delta do Catumbela. Controlos sobre a sedimentação e consequências para a ocupação histórica do Litoral de Benguela (SW de Angola). *Estudos do Quaternário/Quaternary Studies*, 18, 1-14.

HIDRODINÂMICA E MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO SECTOR CENTRAL (TORNADA) DO SISTEMA AQUIFERO CALDAS DA RAINHA-NAZARÉ

João HENRIQUES¹, José Manuel AZEVEDO^{2,3}, Nelson RODRIGUES^{2,4}, Ana Maria CASTILHO^{2,4}

1. David Henriques & Filhos, Lda, Rua do Moinho, N.º 12, Moimhos Novos, 2475-033 Benedita; davihenriques56@gmail.com

2. Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - FCTUC; Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal;

3. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra; jazevedo@det.uc.pt

4. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra; amcastil@det.pt

RESUMO

Realizou-se um estudo no setor central do Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré: O33, baseado fundamentalmente na análise de relatórios de furos para captação de água, com o objectivo de conhecer a morfologia interna e a hidrodinâmica local. Verificou-se que a morfologia do Sistema aquífero é condicionada por factores estruturais e paleo-geomorfológicos, que influenciam fortemente a espessura aquífera. O aquífero associado às formações Plio-pleistocénicas encontra-se dividido em dois setores separados pelo afloramento central da Formação das “Margas e calcários de Dagorda” e prolonga-se em profundidade para N. A hidrodinâmica intra-aquífera no sector W caracteriza-se por expressar um baixo gradiente hidráulico a E e um mais elevado a W; no sector E ocorre um baixo gradiente hidráulico a W e outro mais elevado a N (importante zona de descarga aquífera).

Palavras-Chave: Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré; aquífero Plio-pleistocénico; modelação geométrica; hidrodinâmica intra-aquífera

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da morfologia e da hidrodinâmica de uma unidade aquífera constituem ferramentas fundamentais para a correta gestão e a exploração sustentada das massas de água subterrânea. O presente estudo baseou-se fundamentalmente na análise de 23 relatórios de furos para captação de água realizados numa área aproximada de 21 km², no setor central do Sistema aquífero Caldas da Rainha-Nazaré: O33. O objetivo principal é o incremento do conhecimento sobre a morfologia interna e a hidrodinâmica daquele Sistema aquífero.

2. ENQUADRAMENTO GERAL

O domínio estudado localiza-se no distrito de Leiria, Concelho de Calda da Rainha, enquadrado na Região Hidrográfica Ribeiras do Oeste, Bacia Hidrográfica do Rio da Tornada. Apresenta uma geomorfologia em depressão alongada com direção aproximada NE-SW e, uma fracturação de origem diapírico-tifónica. A geologia é marcada pela presença de formações sedimentares marinhas e continentais do Plio-pleistocénico e formações margo-calcárias do Jurássico inferior (Zbyszewski, 1959; 1960) (Fig. 1). As formações Plio-pleistocénicas são as que apresentam maior potencial aquífero.

3. HIDROGEOLOGIA

O domínio em análise insere-se no Sistema Aquífero Caldas da Rainha-Nazaré: O33 (Almeida *et al.*, 2000) e está preenchido maioritariamente pelas formações siliciclásticas Plio-pleistocénicas e modernas. Nestas formações evolui um aquífero do tipo multicamada, não-confinado a semi-confinado. Apresenta uma espessura máxima na ordem dos 150 m, uma espessura mínima aproximada de 20 m e uma média estatística de 70 m (Almeida *et al.*, 2000). A base

deste é constituída pela Formação das “Margas e Calcários de Dagorda”.

O Sistema aquífero apresenta uma geometria muito variável condicionada pela estrutura diapírica, pela tectónica e por factores paleo-ambientais, chegando a apresentar uma variação de profundidade na ordem das dezenas de metros numa extensão de cerca de uma centena de metros, o que torna muito imprevisível a seleção de locais produtivos e obriga frequentemente a estudos de prospecção prévios com o emprego de técnicas de geofísica.

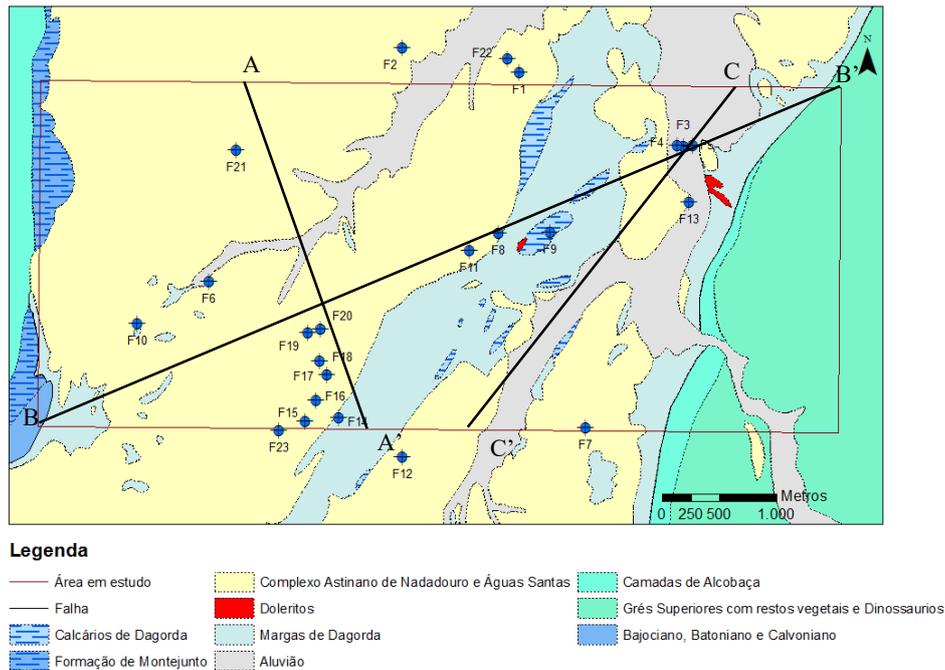


Fig. 1. Enquadramento geológico do domínio estudado, localização dos furos analisados e dos cortes interpretativos apresentados na Fig. 3 (sobre fragmento adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50.000 – Folha 26-D de Zbyszewski, 1959).

A produtividade aquífera está directamente relacionada com a espessura saturada da unidade, sendo notório um aumento de produtividade aquando da presença de lignitos, que apresentam uma variação lateral significativa com espessuras a variar entre os 0,5 e os 15 m. Segundo Saraiva & Peixinho de Cristo (1994), a transmissividade do meio aquífero varia entre os 30 e os 450 m²/dia. A recarga aquífera é, em média, de 16 a 20 hm³/ano e deriva essencialmente da precipitação atmosférica e infiltração, havendo nalguns locais recarga a partir de linhas de água. Na zona em estudo existe um afloramento da Formação hetangiana “Margas e Calcários de Dagorda” que divide o aquífero em dois Sectores (Fig. 1) com hidrodinâmicas e morfologias distintas: Sector W e Sector E. A geometria do aquífero está representada na Figura 2, através de um modelo digital (o método de interpolação utilizado foi o inverso do quadrado da distância). Na Figura 3, está representada através de perfis geológicos.

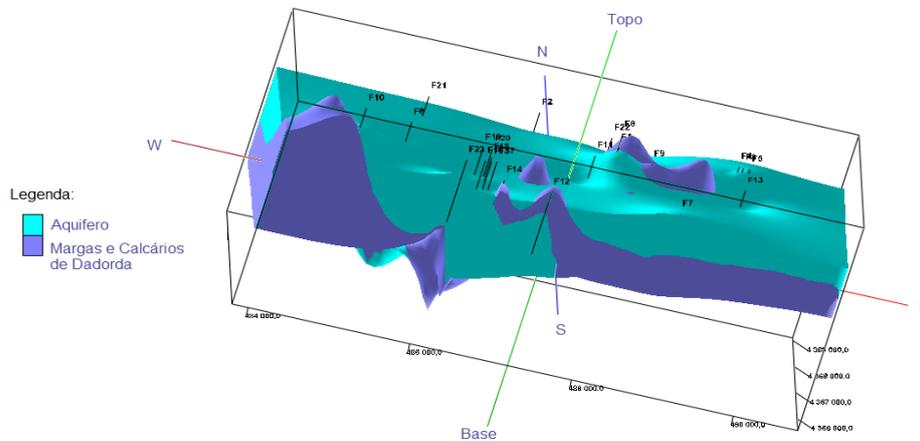


Fig. 2. Modelo digital representativo da geometria do aquífero no domínio em estudo (foi utilizado o método do inverso do quadrado da distância).

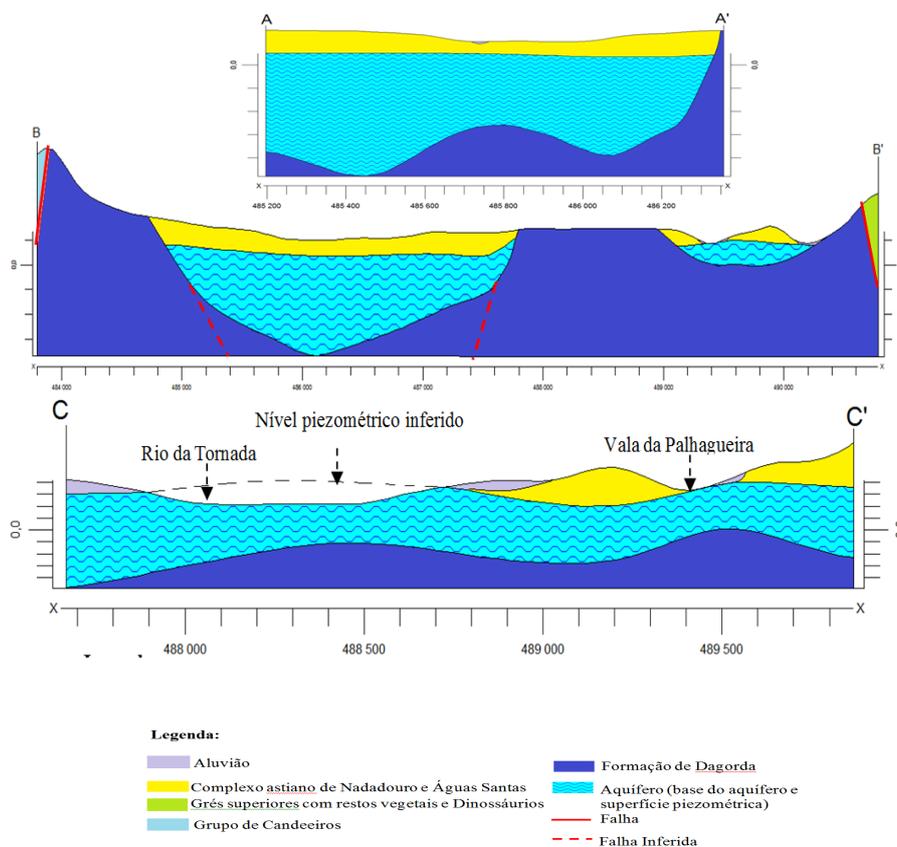


Fig. 3. Perfis geológicos interpretativos da geometria do aquífero em estudo.

Para ambos os Sectores - W e E - foram realizadas cartas de fluxo hídrico (Fig. 4) a partir das medições de níveis piezométricos. As cartas de fluxo apresentadas poderão apresentar pequenos desvios devido a: (1) distorção dos níveis hidrostáticos devido à ocorrência de cones de rebaixamento nas proximidades e (2) distribuição heterogênea dos pontos de medição.

O estado químico e quantitativo da massa de água subterrânea do aquífero O33 foi classificado como Bom no 2º ciclo de planeamento (2016-2021) do PGRH5A (APA, 2016). A sua avaliação no 1º ciclo (2009-2015) (APA, 2013) tinha sido Medíocre devido a vários factores como: (1) sobreexploração aquífera, (2) contaminação por lixiviação de solos agrícolas, (3) contaminação (em alguns locais) por águas ricas em NaCl devido, essencialmente, à existência de captações que, durante a sua construção, interceptaram o aquífero inferior adjacente à Formação das “Margas e Calcários de Dagorda” (segundo Zbyszewski, 1959), ou por escorrência de águas superficiais que lixiviam os evaporíticos aflorantes.

CONCLUSÕES

O tratamento e a interpretação dos dados permitiram expressar os seguintes resultados:

- A morfologia do Sistema aquífero é claramente condicionada por factores estruturais (sobretudo falhas que se encontram cobertas pelos depósitos Plio-pleistocénicos), paleo-geomorfológicos e paleo-deposicionais, fortemente condicionantes da espessura aquífera;
- A geometria do Sector W caracteriza-se por apresentar uma depressão em sinforma com direção W-E; tendo a sua base contornos muito irregulares, onde se destacam duas depressões mais acentuadas com alinhamento NW-SE; estando o topo quase plano. Os limites laterais E e W expressam declives medianos enquanto a N e S estes são irregulares;
- A geometria do Sector E caracteriza-se por apresentar uma forma regular em todos os domínios constituindo o aquífero uma sinforma segundo E-W;
- O aquífero associado às formações Plio-pleistocénicas encontra-se dividido em dois Setores separados pelo afloramento central da Formação das “Margas e calcários de Dagorda” e prolonga-se em profundidade para N;
- a hidrodinâmica intra-aquífera no Sector W caracteriza-se por expressar um baixo gradiente hidráulico a E e outro mais acentuado a W (principal zona de recarga aquífera);
- no Sector E a hidrodinâmica intra-aquífera caracteriza-se por apresentar um baixo gradiente hidráulico a W e outro mais elevado a N (importante zona de descarga aquífera).

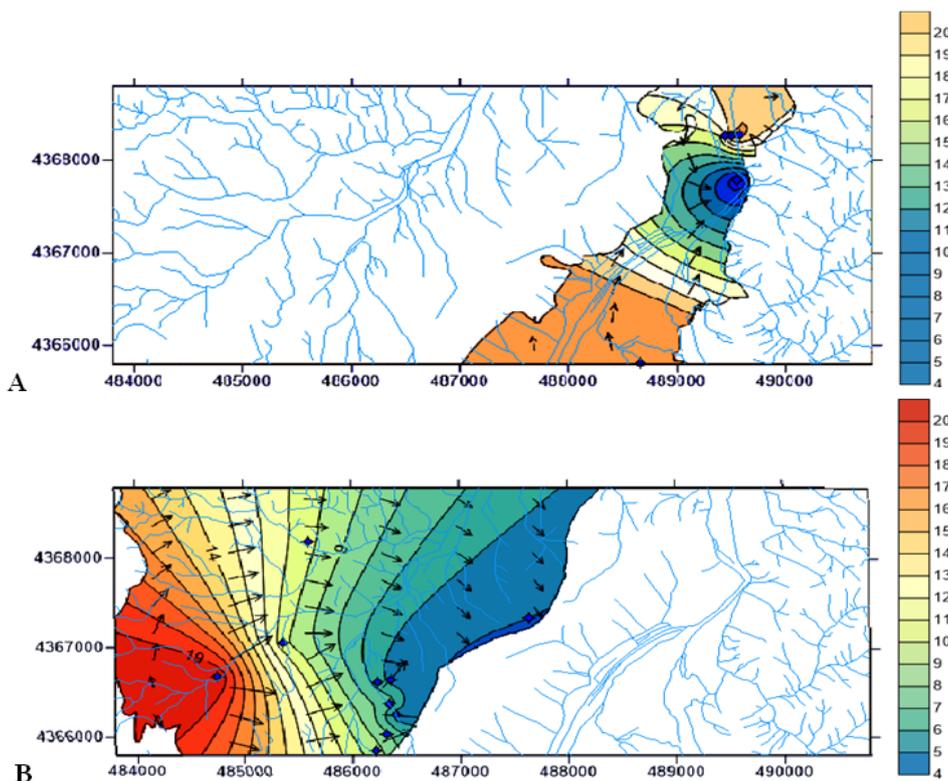


Fig. 4. Cartas piezométricas e de fluxo do aquífero estudado: A-Sector E; B-Sector W (isopiezas em m).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C., MENDONÇA, J., JESUS, M., GOMES, A. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental – O33 Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré*, Instituto da Água, 421 – 431, Disponível em <http://snirh.apambiente.pt>
- AZEVEDO, J. M., (2008). *Apontamentos sobre Unidades Aquíferas, Matriz de Classificação*. Departamento de Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). (2016). Plano de Gestão da Região Hidrográfica 2016/2021. Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Disponível em: https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848#Quadro_PGRH_Final
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). (2012). Plano de Gestão da Região Hidrográfica. Região Hidrográfica do Tejo e Ribeiras do Oeste (RH5). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente.
- SARAIVA, M. P. S.; PEIXINHO E CRISTO, F. (1994). Aquífero do Vale Tifónico das Caldas da Rainha – Sua Importância Para o Abastecimento Público. In *actas do 2º Congresso da Água, O Presente eo Futuro da Água em Portugal*. Lisboa. Volume II, 39-47.
- ZBYSZEWSKI, G.; MOUTINHO de ALMEIDA, G. (1960). *Noticia Explicativa da Folha 26 D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:5000*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.
- ZBYSZEWSKI, G.; MOUTINHO de ALMEIDA, G. (1959). *Folha 26-D da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50000*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

HIDROGEOLOGIA DOS DOMÍNIOS ENVOLVENTES DAS TERMAS DA TOUCA, ALPEDRINHA, FUNDÃO

Valter SILVA¹, José Manuel AZEVEDO^{2,3}, Ana Maria CASTILHO^{2,4}, Luís M. FERREIRA GOMES⁵

1. Câmara Municipal do Fundão

2. Departamento de Ciências da Terra - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra; Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal

3. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra; jazevedo@dct.uc.pt

4. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra; amcastil@dct.pt

5. Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã, GeoBiotec; lmfg@ubi.pt

RESUMO

No presente trabalho apresenta-se a caracterização, classificação e modelação conceptual da hidrogeologia dos domínios enquadrantes das Termas da Touca com base em elementos, locais e regionais, de natureza geológica, tectónica, hidrogeológica, hidroquímica e hidroclimatológica. Ocorrem dois sistemas aquíferos principais: um aquífero freático (não-confinado) de natureza porosa e porosa-fissurada e um aquífero profundo, confinado a semi-confinado, do tipo fissural e de natureza hidrotermal. As Termas da Touca constituem um ponto de descarga deste aquífero.

Palavras-Chave: Termas da Touca (Fundão); Granito; Aquífero; Hidrodinâmica; Hidrogeoquímica

1. INTRODUÇÃO

As Termas da Touca são constituídas atualmente por um edifício completamente em ruínas, assim como por uma habitação reabilitada nos anos 90 do século XX, que foi usada como balneário até final dessa década. Atualmente têm sido alvo de interesse por parte de vários investidores para criação de um novo complexo termal, sobretudo devido à sua excelente localização (a 10 km da Aldeia Histórica de Castelo Novo, 4 km da Vila Histórica de Alpedrinha e menos de 9 km da A23), pelo seu aproveitamento histórico nos séculos XVIII e XIX e pelas suas características hidrominerais (água sulfúrea, T= 18,5°C; pH= 8,9; CE = 346 µS/cm; Eh= -140,5 mV).

Apesar de terem ocorrido alguns trabalhos relativamente recentes de prospeção hidrogeomecânica (Acavaco, 1999; 2000), estes ainda não foram suficientes para alavancar investimentos, pois recorrentemente existem problemas a nível microbiológico no recurso hídrico, que tem para além disso um caudal muito pequeno (inferior a 0,45 L/s). Assim, é muito importante a realização de estudos hidrogeológicos na região, de modo a compreender o modelo hidrogeológico para que isso facilite a localização de novas captações, mais profundas que as atuais (> 150 m), devidamente isoladas nos primeiros cerca de 50 a 100 m, para assim se obter água sulfúrea adequada à exploração termal. Naquele sentido, Silva (2017) realizou estudos hidrogeológicos na zona das Termas da Touca que levaram ao presente trabalho.

2. ENQUADRAMENTO GERAL

O domínio estudado enquadra-se na Zona Centro Ibérica e na Unidade hidrogeológica do Maciço Antigo. Apresenta uma precipitação média anual que varia entre 800 e 1800 mm/ano. O balanço hídrico ao nível do solo aponta para uma disponibilidade hídrica média de recarga aquífera variável entre os 150 e os 300 mm/ano.

A geologia local é monótona e constituída por granitos biotíticos porfíroides, normalmente com acentuado grau de alteração e fraturação, particularmente nas zonas mais superficiais. Estruturalmente apresentam as seguintes famílias de fraturação: N60-70°E, N40-50°W, N10-20°W e N30-40°E (Fig. 1).

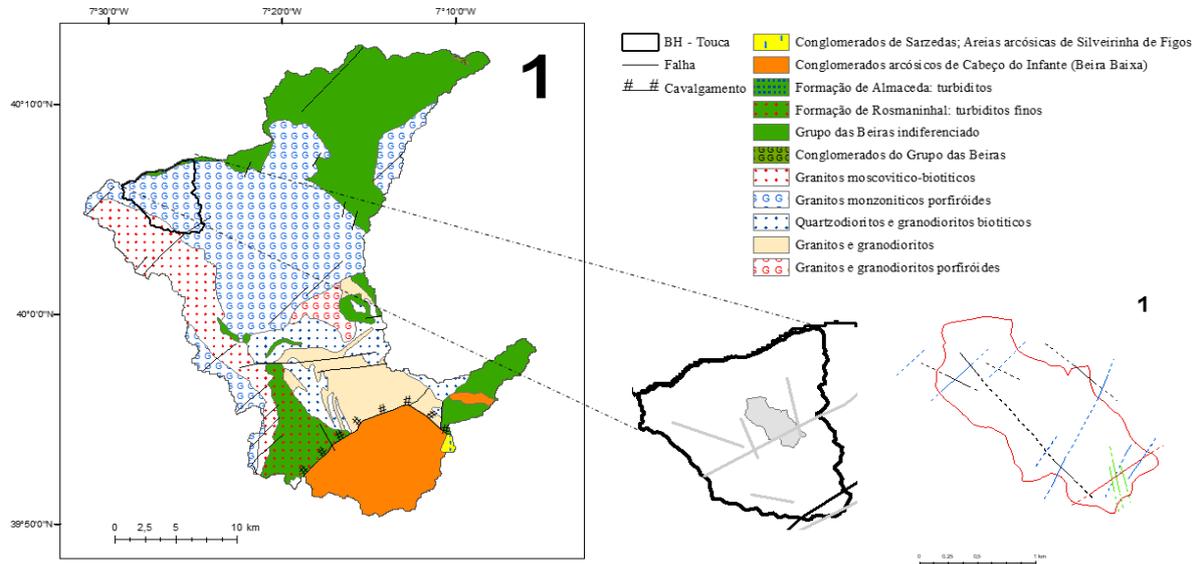


Fig. 1. Enquadramento geológico-estrutural regional da área em estudo, com marcação da Micro-bacia da ribeira do Ameal (Touca).

3. HIDROGEOLOGIA

A zona estudada corresponde à bacia hidrográfica local (micro-bacia da Touca) onde estão inseridas as Termas da Touca. Nesta zona ocorrem dois sistemas aquíferos principais: um aquífero freático de natureza porosa e porosa-fissurada e um aquífero profundo confinado a semi-confinado do tipo fissural.

Para o estudo do aquífero superior de natureza freática, foram seleccionados 23 pontos de água (poços, furos, “minas de água” e linhas de água) e quantificado *in situ* o nível piezométrico assim como os seguintes parâmetros físico-químicos da água: temperatura, condutividade elétrica, pH e Eh) (Fig. 2).

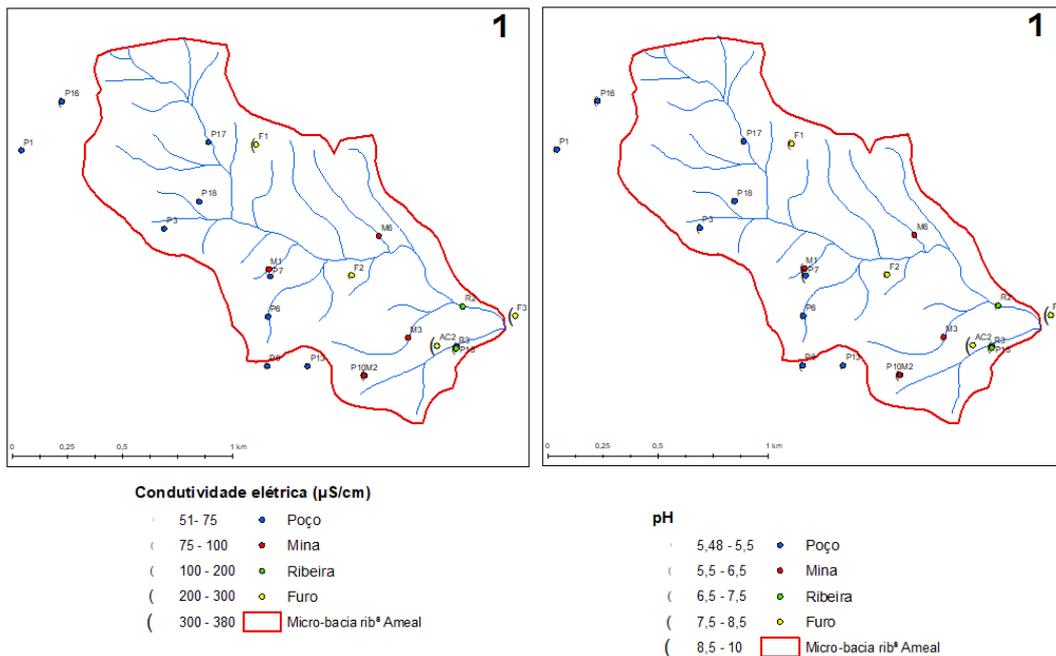


Fig. 2. Mapas representativos dos valores de condutividade elétrica e do pH quantificados nos pontos de água estudados.

O aquífero freático evolui em todo o domínio estudado. O teto acompanha a topografia local. A água deste aquífero apresenta uma temperatura média anual de 12,5 °C, o pH varia entre 5,0 e 6,7 e a condutividade elétrica é baixa (50 a 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estas características apontam para uma grande proximidade à água de recarga aquífera proveniente da precipitação atmosférica.

Nos domínios profundos ocorre um aquífero de natureza fissural com características minerotermais. As Termas da Touca (furos AC1 e AC2) e o Furo 3 correspondem a locais de intersecção deste aquífero. É possível relacionar estas captações entre si, uma vez que estão alinhadas segundo a família principal de fraturação (regional) N 60-70° E, sendo que as falhas transversais, onde emerge a água minerotermais, têm uma orientação N10-20°W. A água emergente apresenta uma temperatura estável de 18,5 °C, um pH próximo de 9,0 e uma condutividade elétrica de 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A interpretação dos dados das análises químicas da água minerotermais expressam que: (1) pertence à fácies bicarbonatada sódica; (2) apresenta natureza sulfúrea, fluoretada e fracamente mineralizada com reação alcalina; (3) os minerais em equilíbrio químico com a água são a aragonite e a calcite; estando sobressaturada em óxidos, hidróxidos, carbonatos e sulfuretos de ferro, e ainda em fluorite, enxofre, talco e quartzo; (4) os índices hidrogeoquímicos evidenciam que a água tem características típicas de uma água com circulação em rochas graníticas, de circulação profunda e com um tempo de residência elevado, onde ocorrem trocas iônicas e acentuada hidrólise de silicatos; (5) os geotermómetros (sílica, Na/K, Mg/Li e K/Mg) apontam para valores de temperatura no reservatório da ordem dos 60 a 99 °C.

Tendo em consideração os diversos elementos obtidos, traçou-se um perfil hidrogeológico conceptual explicativo da hidrodinâmica subterrânea na zona em estudo (Fig.3). O perfil apresenta uma orientação NW-SE e ultrapassa os limites do domínio estudado. Assim, pretendeu-se incluir no perfil os setores situados a NW, mais elevados e pertencentes à Serra da Gardunha, uma vez que estes têm grande importância na recarga aquífera da região onde se inclui o aquífero minerotermais.

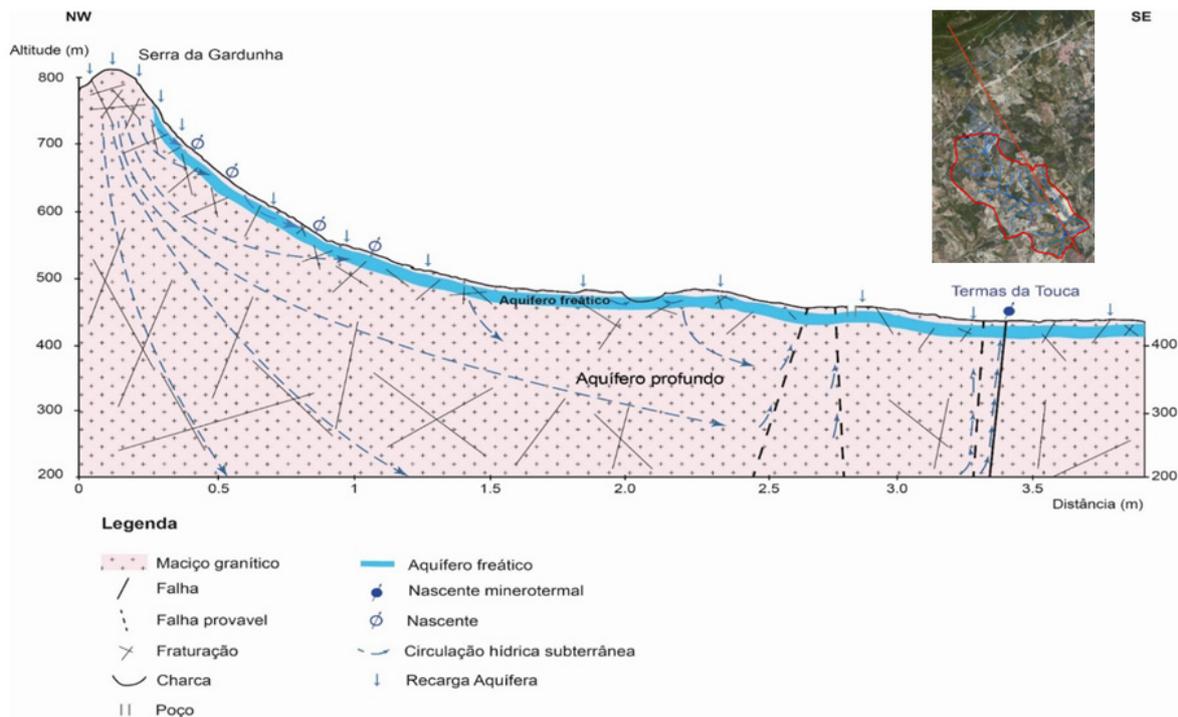


Fig. 3. Perfil hidrogeológico conceptual explicativo da hidrodinâmica subterrânea nos domínios envolventes das Termas da Touca (Silva, 2015).

CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu aprofundar os conhecimentos sobre o aquífero associado às Termas da Touca. Trata-se de um aquífero profundo, confinado a semi-confinado, do tipo fissural e de natureza hidrotermal. Contudo, permitiu a compreensão mais alargada da hidrogeologia local, nomeadamente do aquífero superior não-confinado e das potenciais zonas de recarga das massas de água locais e regionais.

Os estudos de natureza mais abrangente, isto é, não centrados apenas num ponto de água ou num aquífero, constituem seguramente ferramentas importantes para a prospeção, a gestão correta e a exploração sustentada dos aquíferos e massas de água de natureza minerotermais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACavaco (1999). Termalismo - Estudos e Projectos (Termas da Touca) - Relatório Final. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.
- ACavaco (2000). Desenvolvimento dos Recursos Hidrominerais das Termas da Touca - Relatório Final. Lisboa: Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda.
- Silva, V. (2015). Hidrogeologia dos Domínios Envolventes das Termas da Touca, Alpedrinha, Fundão. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica e de Minas. Universidade de Coimbra.

CARACTERIZAÇÃO E MODELIZAÇÃO DE AQUÍFEROS A PARTIR DE PROSPECÇÃO ELÉCTRICA

Enrique ARACIL^{1,2}, Manuel Antunes da SILVA³, Albino MEDEIROS⁴, Elsa TEIXEIRA⁴

1. ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL SUBSUELO, S.L., Pozuelo de Alarcón (Madrid, Espanha), e.aracil@ags-geofisica.com

2. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, (Espanha), earacil@ucm.es

3. SUPERBOCK GROUP, antunes.silva@superbockgroup.com

4. GRANDEWATER, Azeitão (Setúbal, Portugal), geral@grandewater.pt

RESUMO

A definição das características próprias de um aquífero pode ser efetuada a partir do estudo das suas características geométricas e hidrodinâmicas, assim como pela amostragem das águas que nele ocorrem. Porém, uma técnica de prospecção geofísica do subsolo em 2D e 3D, a tomografia elétrica, permite identificar os valores de resistividade elétrica de forma contínua o que, a partir da correlação com dados hidrogeológicos, permite ajudar a caracterizar e a construir o modelo conceptual dos aquíferos.

Neste artigo apresentam-se vários exemplos de aquíferos em rochas fissuradas e um exemplo de um aquífero livre em meios detriticos, correspondentes a diferentes setores de Portugal e Espanha, onde se pode apreciar a variação dos valores de resistividade, que ocorrem na zona saturada quando existe uma variação lateral da mineralização da água ou quando se verifica uma mistura de águas de diferentes características. Esta variação, mais ou menos gradual de resistividades reflete a evolução lateral contínua do quimismo do aquífero.

Palavras-Chave: Prospecção geofísica, tomografia elétrica, aquífero, resistividade

1. INTRODUÇÃO

Os aquíferos em meios fissurados ou os aquíferos livres em meios granulares são muito diferentes no que respeita, entre outros aspetos, à morfologia, extensão, comportamento ou produtividade. Contudo, há um conjunto de características e parâmetros hidrogeológicos que podem ser considerados comuns. Por exemplo, a presença de água de diferentes tipologias, normalmente águas de diferentes mineralizações, sendo precisamente estas mineralizações que vão dar lugar a diferentes condutividades elétricas (a maior mineralização corresponde, de forma geral, a uma maior condutividade).

A investigação do subsolo com prospecção geofísica elétrica vai permitir analisar os materiais (Geological Society, 2002) do ponto de vista da sua resistividade, ou seja, em função de sua maior ou menor capacidade de se oporem à passagem da corrente elétrica. Uma formação rochosa que apresenta uma grande resistência à passagem da corrente elétrica será uma formação que, do ponto de vista deste tipo de investigação, apresenta uma elevada resistividade enquanto que um aquífero que apresente uma resistência reduzida à passagem da corrente elétrica será caracterizado por baixos valores de resistividade.

Dado que a resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica, no caso da unidade rochosa, a resistividade elétrica será muito baixa no caso do aquífero em que a condutividade elétrica será mais elevada. Considerando que esta resistividade (ou condutividade) elétrica se pode analisar e medir de forma bidimensional no subsolo, assume-se que esta ferramenta permitirá determinar a variação mais ou menos gradual das características da água num aquífero.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

A técnica de prospecção geofísica utilizada para obter como resultados os exemplos apresentados neste trabalho é a prospecção geoeletrica na modalidade de perfis de tomografia elétrica. É uma técnica de prospecção bidimensional que permite obter secções verticais do terreno (ver figuras 1, 2 e 3) até uma certa profundidade (que será condicionada

pelo número de elétrodos utilizados, o espaçamento existente entre eles e a configuração de elétrodos utilizada).

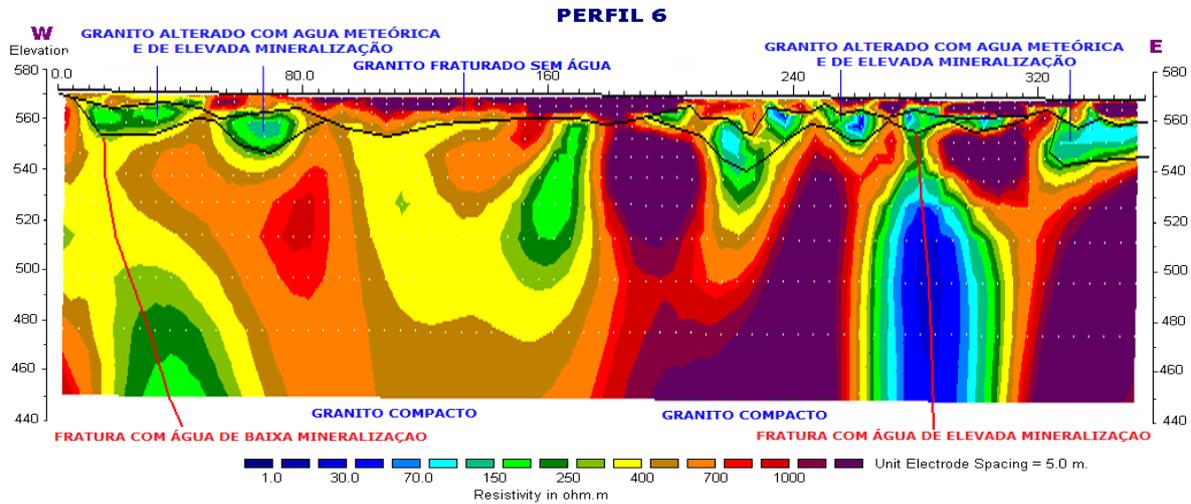


Fig. 1. Perfil de tomografia elétrica realizado num setor do norte de Portugal onde a litologia predominante são os granitos. A parte superior corresponde a uma unidade de expressão local cujo suporte litológico é um granito afetado por intensa fraturação e alteração, encontrando-se parcialmente saturada por águas meteóricas e águas provenientes de fraturas, por vezes, com circulação profunda. Pode-se observar, sobre a fratura da direita, que as águas do aquífero superficial apresentam valores de resistividade semelhantes aos das águas que circulam nessa fratura (o que indicia que o aquífero superficial é recarregado por essa fratura) e vão aumentando as resistividades (a condutividade vai diminuindo) à medida que a distância à referida fratura também aumenta. As linhas vermelhas são fraturas e as linhas pretas são os contatos entre unidades litológicas.

A tomografia elétrica consiste na injeção de corrente elétrica no terreno através de um determinado número de elétrodos situados ao longo de um perfil localizado na superfície (Kearey, Brooks and Hill, 2002; Reynolds, 1997). A resposta à passagem da corrente resulta numa secção vertical com uma certa profundidade (determinada, em parte, pelo comprimento do perfil), onde os valores de resistividade são representados por diferentes cores para permitir uma melhor interpretação das características do subsolo. Estes valores de resistividade podem corresponder a diferentes litologias, diferentes graus de alteração e/ou à presença de diferentes águas com características distintas.

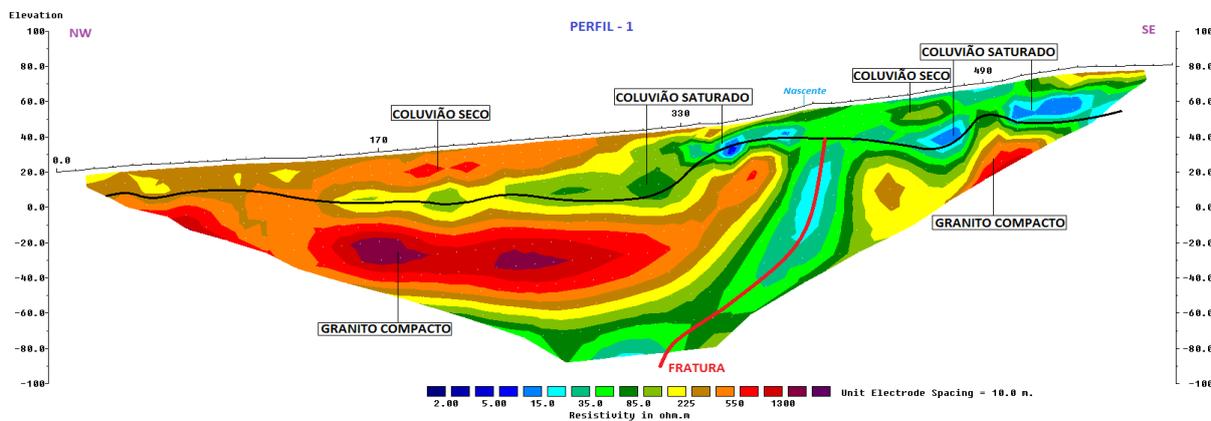


Fig. 2. Perfil de tomografia elétrica realizado num setor do centro de Portugal onde as litologias predominantes são os granitos sob depósitos de idade terciária (o contato é a linha preta). O granito encontra-se afetado por uma fratura (linha vermelha) por onde ocorre a circulação de águas subterrâneas.

3. RESULTADOS

Nos exemplos apresentados, os altos valores de resistividade correspondem a rochas graníticas compactas, enquanto os valores mais moderados correspondem aos mesmos granitos, mas afetados por processos de alteração ou por fraturas com diferentes características (espaçamento, tipo de preenchimento, mineralização do fluido circulante), podendo por umas circular água pouco mineralizada, por outras circular água mais mineralizada e outras revelarem-se fraturas improdutivas. No caso do exemplo da figura 4, os valores de resistividade mais elevados correspondem a um substrato de argila triásica do Keuper, enquanto os materiais com valores mais baixos correspondem às areias superficiais saturadas. Em qualquer dos casos, a presença de águas mais mineralizadas provoca uma diminuição nos valores de resistividade.

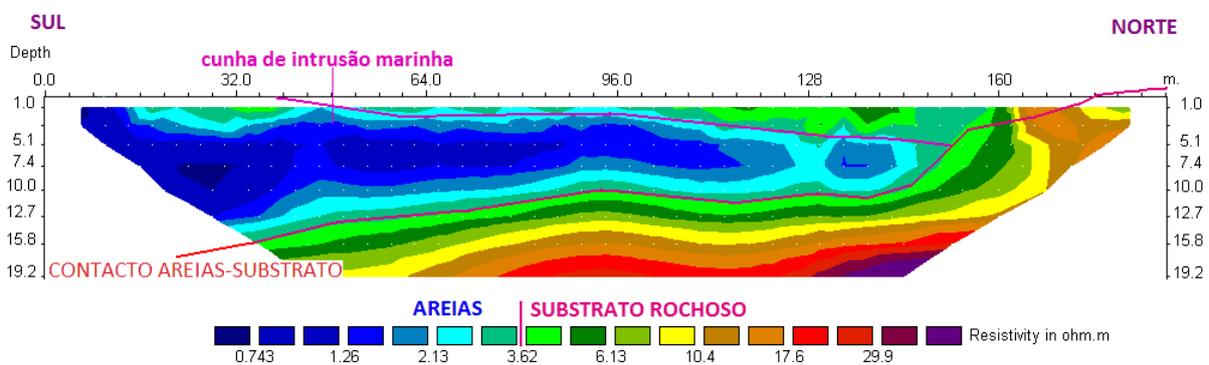


Fig. 3. Perfil realizado num setor do SE de Espanha onde a litologia predominante corresponde às areias de praia situadas sobre um substrato argiloso de idade triásica. A unidade arenosa é o suporte de um aquífero livre que apresenta uma variação lateral das características da água (mais salinizada, a sul e menos salinizada, a norte) devido à intrusão salina que se produz.

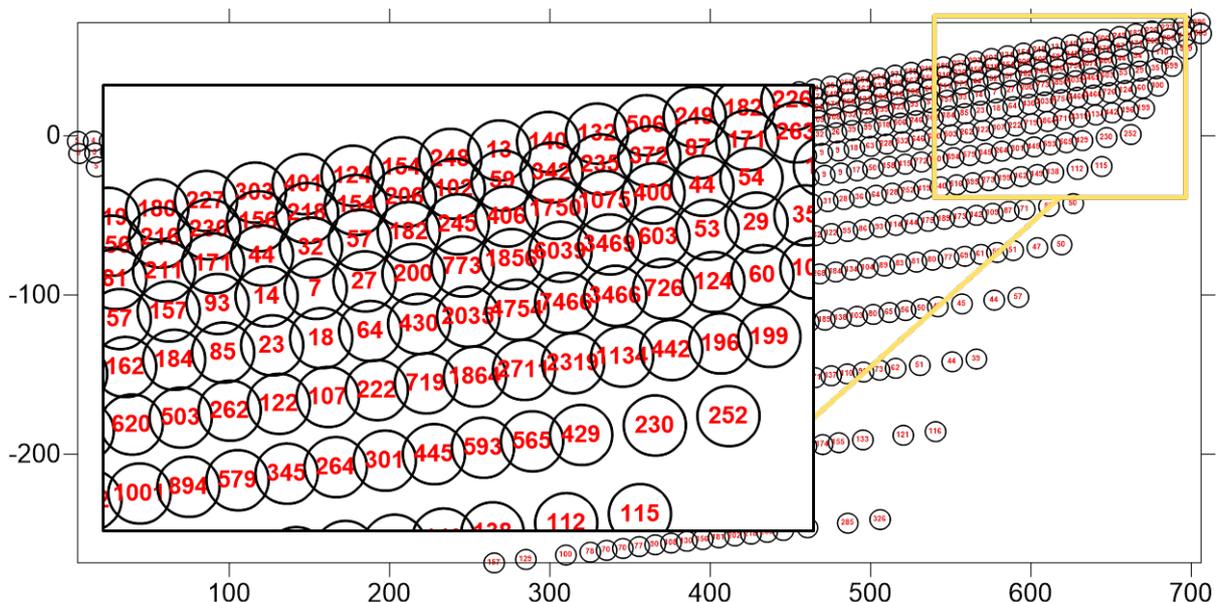


Fig. 4. Perfil de tomografia eléctrica que representa os valores de resistividade eléctrica (em ohm x m) de modo a poder-se apreciar os valores reais de resistividade em cada ponto de medida do subsolo (profundidade no eixo vertical e comprimento do perfil no eixo horizontal). Este desenho é realizado depois de um procesamento dos dados.

4. RESULTADOS

Uma vez obtidos os perfis de tomografia elétrica em cada um dos setores estudados, foram analisados os valores de resistividade e a evolução lateral tanto do ponto de vista gráfico (figuras 1, 2 e 3) quanto numérico, sendo esta

análise numérica realizada em forma gráfica (figura 4) mas também pode ser realizada por tabelas. Essa análise inicial permitiu identificar várias situações que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

4.1 Zonas sem mistura de águas

Existem áreas de estudo nas quais se identificou um contacto nítido entre a água proveniente de um aquífero e a água de outro aquífero, determinando a ausência de ligação hidráulica entre aquíferos e, com isso, uma clara delimitação das águas de cada um. Isto pode ser apreciado e interpretado a partir da observação dos perfis de tomografia elétrica em que os setores saturados apresentam resistividades muito diferentes.

4.2 Zonas com mistura de águas

Há um conjunto de zonas onde o subsolo foi estudado, nas quais não foi identificado um contacto nítido, mas uma variação gradual nos valores de resistividade dos setores saturados com a água proveniente de um aquífero e setores saturados com a água proveniente de outro aquífero, determinando a mistura de águas com diferentes características, através de processos de difusão. Essa variação gradual dos valores de resistividade, quando observada, sempre mostrou uma “intrusão” de água mais mineralizada na zona saturada com águas menos mineralizadas, revelando uma maior carga hidráulica do aquífero com águas mais mineralizadas, contribuindo este como fonte de recarga do aquífero com águas menos mineralizadas.

No caso dos aquíferos com permeabilidade fissural, e sempre que a carga hidráulica do sistema profundo seja superior à do aquífero superior, são as águas que ascendem através das fraturas e “penetram” gradualmente no aquífero superficial (este com águas menos mineralizadas) tornando-o mais mineralizado nas proximidades das fraturas. No caso do aquífero livre analisado, as águas mais mineralizadas “introduzem-se” por baixo das águas menos densas do aquífero de água doce de origem continental, permitindo a clara observação da morfologia e da extensão da cunha de intrusão marinha e, ao mesmo tempo, permitindo apreciar a evolução lateral dos valores de resistividade de muito baixos (águas muito salinizadas), à esquerda do perfil (figura 3), a moderados (águas salobras ou mistas), à direita do perfil.

5. CONCLUSÕES

Sabe-se através dos estudos hidrogeológicos que, quando ocorre ligação hidráulica entre aquíferos se verifica uma mistura de águas, que pode ser mais ou menos gradual dependendo das características hidráulicas dos aquíferos, contudo não há muitos exemplos na bibliografia que permitam ver de forma clara nem a mistura de águas, nem a variação lateral da mineralização com base na condutividade das águas, muito menos a representação gráfica do predomínio de umas águas sobre as outras. A técnica de prospecção geofísica utilizando perfis de tomografia elétrica permite este tipo de observação, o que pode facilitar o conhecimento mais preciso do comportamento hidrodinâmico dos aquíferos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos às empresas que contrataram os trabalhos de prospecção geofísica, através dos quais foi possível obter os perfis analisados e apresentados. Dado que se trata de trabalhos confidenciais, não se disponibilizam os locais precisos dos exemplos, apresentando-se, apenas a zona onde foram realizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications (2002); v. 19; p. 61-110 doi:10.1144/GSL.ENG.2002.019.01.05.
- Kearey P, Brooks M, Hill I. (2002) *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3rd edn. Oxford: Blackwell science. ISBN 0-632-04929-4.
- Reynolds J M. (1997) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. N. York: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-96802-1.

INSTALAÇÃO DE DEMONSTRAÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM MEIOS POROSOS SATURADOS

João VIEIRA¹, João L. M. P. de LIMA²

1. INESCC – Institute for Systems Engineering and Computers at Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, jvieira@dec.uc.pt

2. MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Rua Luís Reis Santos, 3030-788 Coimbra, plima@dec.uc.pt

RESUMO

As instalações laboratoriais podem ser muito úteis para a demonstração de conceitos teóricos e o aperfeiçoamento dos processos de aprendizagem de alunos de engenharia. No Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, foi construída uma instalação laboratorial que permite simular o escoamento de água subterrânea em aquíferos não confinados entre dois canais horizontais, na ausência de recarga. Através da realização de um ensaio laboratorial é possível visualizar e estudar a variação da superfície freática num meio poroso em regimes permanente e transitório; determinar a condutividade hidráulica saturada de um meio poroso e comparar os resultados experimentais com soluções analíticas e numéricas da equação que descreve o escoamento num meio poroso saturado. A instalação já foi usada por mais de 2000 estudantes de cursos de hidrologia de diferentes níveis de ensino universitário (licenciatura, mestrado e doutoramento), com benefício comprovado nos processos de aprendizagem sobre o escoamento de águas subterrâneas em meios porosos saturados.

Palavras-Chave: modelação do escoamento de águas subterrâneas; meios porosos; instalações laboratoriais

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da água doce em estado líquido na Terra (>95%) encontra-se nos sistemas subterrâneos. Para além destes sistemas serem uma origem de água importante para satisfação de necessidades diretas do Homem e de várias atividades económicas (e.g., agricultura e indústria), existem numerosos ecossistemas que dependem de águas subterrâneas e que podem ser afetados em consequência de uma deterioração do estado destas massas de água. Uma correta gestão das águas subterrâneas requer um domínio sobre as leis físicas que regem o seu escoamento.

Hoje em dia, existem aplicações informáticas específicas para fins educacionais, que podem ser utilizadas na formação inicial de futuros profissionais e/ou cientistas, sobre os conceitos fundamentais do escoamento das águas subterrâneas em meios porosos saturados (e.g., Manteca et al., 2014; Pérez e Manteca, 2016). No entanto, as instalações laboratoriais continuam a revelar-se de grande interesse na demonstração de conceitos fundamentais e a contribuir positivamente nos processos de aprendizagem dos estudantes em cursos sobre mecânica de fluidos (Gamez-Montero et al., 2015; Rahman, 2017).

Este trabalho descreve uma instalação laboratorial que foi construída no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (de Lima e Vieira, 2005), que permite simular o escoamento de água subterrânea em aquíferos não confinados entre dois canais horizontais, na ausência de recarga (Fig. 1). Através da realização de um ensaio laboratorial, é possível visualizar e estudar a variação da superfície freática num meio poroso em regimes permanente e transitório; determinar a condutividade hidráulica saturada de um meio poroso e comparar os resultados experimentais com soluções analíticas e numéricas da equação que descreve o escoamento das águas subterrâneas num meio poroso saturado.

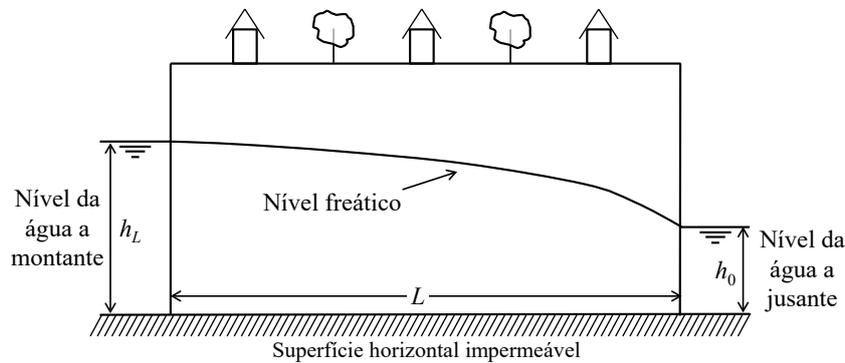


Fig. 1. Representação esquemática do nível freático num aquífero não confinado entre dois canais horizontais, na ausência de recarga (h_L e h_0 – carga hidráulica acima da superfície horizontal impermeável, e L – comprimento do meio poroso).

2. EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS PARA DESCRIÇÃO DO ESCOAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Considere-se um meio poroso homogêneo e isotrópico, em que a água incompressível está limitada por uma base horizontal impermeável e a superfície freática está à pressão atmosférica. Admitindo como válida a hipótese de Dupuit, ou seja, que existe uma distribuição hidrostática de pressões, a equação unidimensional que descreve o escoamento da água ao longo do tempo, na ausência de recarga, pode ser escrita do seguinte modo (e.g., Bear, 1979):

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad [\text{Eq. 1}]$$

em que K é a condutividade hidráulica saturada do aquífero (ou parâmetro característico do escoamento), h é a carga hidráulica acima da base horizontal impermeável, S_y é a cedência específica e, x e t são, respetivamente, a direção principal do escoamento e o tempo.

2.1 Solução analítica para regime permanente

A Eq. 1 pode ser resolvida por integração direta em condições de regime permanente (i.e., $\partial h / \partial t = 0$), obtendose uma solução que explicita o fluxo de água subterrânea por unidade de largura do aquífero, $q = Q/B$ (caudal/largura do meio poroso), do seguinte modo:

$$q = K \frac{(h_L^2 - h_0^2)}{2L} \quad [\text{Eq. 2}]$$

com h_L , h_0 e L definidos tal como na Fig. 1.

2.2 Solução numérica para regime transitório

A Eq. 1 pode ser linearizada usando um valor constante para a espessura saturada do aquífero (D , com $D \approx h$), admitindo que a variação da espessura saturada entre os dois extremos do aquífero não é significativa, por comparação com a espessura saturada do aquífero. Deste modo, a Eq. 1 pode ser escrita da seguinte forma:

$$K \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial h}{\partial x} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{ou} \quad KD \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad [\text{Eq. 3}]$$

e ser resolvida por métodos numéricos implícitos ou explícitos.

O método explícito de Saul'Yev é incondicionalmente estável na resolução da Eq. 4 do seguinte modo:

$$h_i^{t+1} = \frac{cc \times h_{i+1}^t + (1 - cc) \times h_i^t + cc \times h_{i-1}^{t+1}}{(1 + cc)} \quad [\text{Eq. 4}]$$

com $cc = \frac{KD}{S_y} \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2}$ e, Δx e Δt são os intervalos espacial e temporal adotados.

3. INSTALAÇÃO LABORATORIAL

A Fig. 2a apresenta a instalação laboratorial de uma forma esquemática. A instalação construída (Fig. 2b) está assente numa estrutura metálica com a dimensão de 2 m × 0,3 m × 1 m (comprimento × largura × altura) que sustenta um conjunto de paredes de vidro (12 mm de espessura) transparentes. O meio poroso ocupa a parte central da instalação experimental, sendo suportado, em cada extremo, por uma rede metálica que não limita o fluxo natural da água (distância entre redes metálicas = extensão do meio poroso = 1,5 m). Os níveis de água a montante e jusante podem ser mantidos constantes através de dois pequenos reservatórios com descarregador, acoplados à estrutura principal da instalação. Variando o nível da água nesses reservatórios, é possível criar diferentes condições de escoamento. Quinze piezómetros distribuídos regularmente permitem seguir a variação da superfície freática entre os dois extremos do meio poroso. A instalação laboratorial inclui ainda uma bancada com manómetros (à esquerda na Fig. 2b) para leitura dos níveis piezométricos.

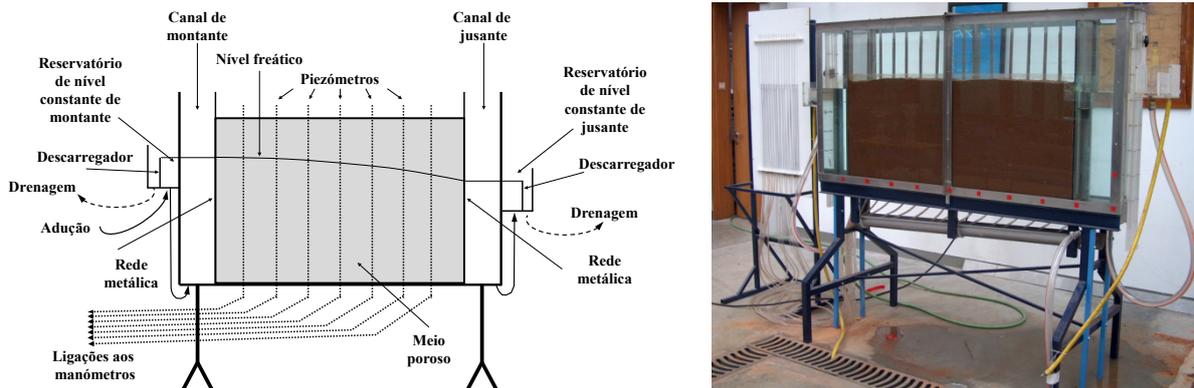


Fig. 2. (a) Representação esquemática da instalação laboratorial e (b) fotografia da instalação laboratorial construída e da bancada com manómetros.

4. ENSAIO LABORATORIAL

Nesta secção, resumem-se os resultados de um ensaio laboratorial realizado de acordo com o procedimento definido no manual de utilização da instalação laboratorial (de Lima e Vieira, 2005). Após se ter saturado o solo até à altura de 0,584 m, o nível de água no reservatório de jusante foi descido rapidamente até à altura de 0,369 m.

A Fig. 3a mostra a evolução do nível freático ao longo do ensaio experimental (leituras dos níveis freáticos 30 segundos, 1, 2, 4, 6, 9, 12 e 15 minutos após o início do ensaio laboratorial). Na Fig. 3a, é visível um aumento do gradiente dos níveis freáticos na direção do reservatório de jusante. Da Lei de Darcy, como a secção de escoamento se reduz com a diminuição do nível freático, o gradiente tem de aumentar para o caudal se manter constante (Fetter, 2014).

A medição do caudal foi efetuada por um método volumétrico após a leitura dos níveis freáticos, em condições de regime permanente (no ensaio laboratorial, assumem-se condições de regime permanente quando é atingida uma diferença igual ou inferior a 2% em três medições consecutivas do caudal). O caudal (Q) médio determinado foi igual a $1,42 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor médio foi em seguida utilizado para estimar a condutividade hidráulica saturada (K) por aplicação da Eq. 2 (com $B = 0,3 \text{ m}$ e $L = 1,5 \text{ m}$), tendo-se obtido o valor de $6,93 \times 10^4 \text{ m/s}$. Este valor está dentro do intervalo típico de variação da condutividade hidráulica saturada indicado por Fetter (2014) para areias: 10^{-3} - 10^{-5} m/s .

Por último, a Fig. 3b apresenta uma comparação dos resultados experimentais com resultados da simulação numérica com o método de Saul'Yev (Eq. 4), com $D = (0,584 + 0,396)/2$ m, $\Delta t = 1$ s, $\Delta x = 0,05$ m, e $S_y = 0,25$ (valor típico para areias – Fetter, 2014). Como poder ser observado na Fig. 3b, em geral, os resultados da simulação numérica aproximam-se das leituras dos níveis freáticos observados.

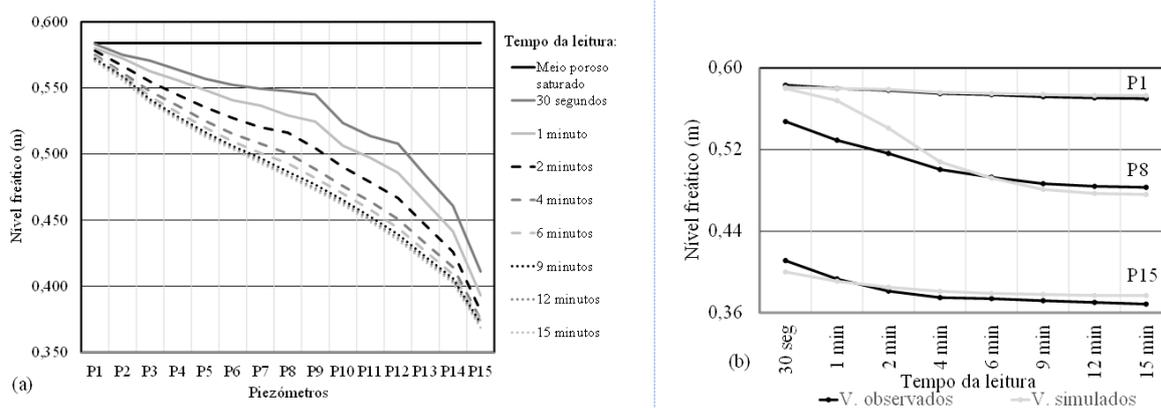


Fig. 3. (a) Variação do nível freático ao longo do ensaio laboratorial e (b) comparação dos níveis freáticos simulados e observados em três piezómetros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde que foi construída no ano letivo 2004/2005, a instalação laboratorial já foi utilizada por mais de 2000 estudantes de cursos de hidrologia de diversos níveis de ensino universitário (licenciatura, mestrado e doutoramento). As experiências realizadas pelos estudantes têm contribuído para a melhoria do conhecimento de futuros profissionais e/ou cientistas sobre os princípios e as leis físicas que regem o escoamento das águas subterrâneas em meios porosos saturados, que pode ser verificado através da qualidade de relatórios efetuados, de respostas em momentos de avaliação e em inquéritos anuais realizados a nível institucional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do técnico de laboratório Joaquim Cordeiro do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra na construção da instalação laboratorial, assim como aos estudantes o interesse e empenho demonstrados nas aulas de laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bear J (1979). *Dynamic of Fluids in Porous Media*. New York: America Elsevier – Environmental Science Series, EUA.
- de Lima JLMP, Vieira J (2005). *Manual de Instalação Experimental – Simulação em Escala Reduzida do Escoamento da Água num Meio Poroso Saturado*. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Fetter CW (2014) *Applied Hydrogeology* (4 Ed). London: Pearson Education Limited.
- Gamez-Montero PJ, Raush G, Domènech L, Castilla R, García-Vílchez M, Moreno H, Carbó A (2015). Methodology for developing teaching activities and materials for use in fluid mechanics courses in undergraduate engineering programs. *Journal of Technology and Science Education*, 5(1), 15-30.
- Manteca IA, Meca AS, López FA (2014). FATSIM-A: An educational tool based on electrical analogy and the code PSPICE to simulate fluid flow and solute transport. *Computer Applications in Engineering Education*, 22(3), 516-528.
- Pérez JFS, Manteca IA (2016). Teaching and learning of fundamental concepts of ground water flow by a specific educational software. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 228, 285292.
- Rahman A (2017). A blended learning approach to teach fluid mechanics in engineering. *European Journal of Engineering Education*, 42(3), 252-259.

MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO SIMPLES DA VÁRZEA DA NAZARÉ

Carla CAROÇA¹

1. Hidrogeóloga, Lisboa, carlacaroca@sapo.pt

RESUMO

A Várzea da Nazaré é uma área rebaixada, essencialmente arenosa, ocupada pela agropecuária, que até ao século XVIII, foi ocupada por mar – Laguna de Pederneira. Localizase no distrito de Leiria, nos concelhos de Nazaré e de Alcobaça. Na sua envolvente apresenta, também, várias indústrias do tipo cerâmica, vidro e alimentar cujos resíduos seguem para a VALORSUL, para uma estação de transferência em S. Bartolomeu, quatro ETAR e sete ETA na área de estudo. Os dados adquiridos durante a realização de investigação conducente ao doutoramento em Geologia, na especialidade Hidrogeologia, de 2011 a 2015, permitiram desenvolver um modelo conceptual hidrogeológico simples, ilustrando o circuito geral dos recursos hídricos analisados e a interpretação das características físico-químicas.

Palavras-Chave: modelo, Várzea da Nazaré, qualidade, contaminação

1. INTRODUÇÃO

A Hidrogeologia é a área da Geologia que contribui cientificamente para os objectivos no domínio da política da água.

Em 2011, segundo a ARH Tejo (Administração de Recursos Hídricos), os dados sobre o conhecimento dos recursos hídricos da Várzea da Nazaré eram praticamente inexistentes. A não existência de dados hidroquímicos antigos e de relatórios geotécnicos não permitiu apresentar a variação espacial e a evolução temporal das águas da Várzea da Nazaré e realizar o estudo hidrodinâmico nesta zona.

Modelo conceptual é o produto produzido por um método que os hidrogeólogos e todos os outros especialistas relacionados com a gestão de recursos naturais utilizam para apresentar ao público como uma súmula da interpretação dos dados adquiridos até àquele momento. Não há regras rígidas para a sua elaboração pode ser um mapa, um corte geológico, um esquema, um desenho, uma fotografia, um gráfico e/ou uma construção a 3D, de forma a transmitir a mensagem de forma entendível a todos (Brassington e Younger, 2009)

O presente trabalho (resultado de investigação para obtenção do grau de doutoramento, 2011 a 2015) pretende mostrar a interpretação dos dados hidroquímicos das análises efectuadas na Várzea da Nazaré para a produção de um modelo conceptual simples.

2. ENQUADRAMENTO

A Várzea da Nazaré é uma área localizada no litoral centro de Portugal continental, entre o Cabo Carvoeiro e Nazaré, no distrito de Leiria, na antiga Laguna de Pederneira e abrange os concelhos de Nazaré e de Alcobaça. Geomorfologicamente é uma zona baixa, com altitudes inferiores a 13 m, plana com ligeiro declive para oeste, preenchida por sedimentos aluvionares arenosos e/ou vasosos (argila e silte) do Quaternário, e cortada por várias linhas de águas naturais e artificiais.

Do ponto de vista hidrogeológico, a Várzea da Nazaré localiza-se na região hidrográfica «Tejo e Ribeiras do Oeste», na Bacia do Rio Alcobaça, na Bacia Hidrográfica «das ribeiras da costa localizadas entre o limite sul da bacia hidrográfica do rio Lis e o Cabo Raso e os respectivos espaços localizados entre estas bacias», e distribuídas por quatro massas de água: Caldas da Rainha – Nazaré, Alpedriz, Orla Ocidental Indiferenciada das Bacias das Ribeiras do Oeste, Maciço Calcário Estremenho. (DL n.º 117/2015 de 23 de Junho, alteração do DL n.º 347/2007 de 19 de Outubro)

As principais actividades são a agricultura, a pecuária, a indústria cerâmica e vidreira e o turismo.

Do ponto de vista da contaminação ambiental a Várzea da Nazaré localiza-se sobre evaporitos (sector interno e intermédio da várzea) e próximo do mar, com possível intrusão salina (sector litoral da várzea). Do ponto de vista da contaminação antrópica, apresenta-se ocupada pelas actividades agro-pecuárias, antigas lixeiras [São Bartolomeu e Quinta de São Gião (informação oral da população local)], zona industrial no Casal de Areia, várias ETAR com despejo das águas residuais para os rios de Areia e de Alcobaça, despejos domésticos e fossas sépticas. É cortada e ladeada por vários tipos de rodovias e ferrovias (Caroça, 2016a).

De acordo com o website do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Caroça, 2015a), no Inverno apresenta temperaturas entre 8°C e 15°C e precipitações médias entre 50 mm e 200 mm, e no Verão, entre 15°C e 23°C e 0 mm e 80 mm, respectivamente. Os anos de elaboração do estudo 2011, 2012 e 2013, foram considerados, no geral, secos e quentes.

3. METODOLOGIA

A Várzea da Nazaré foi sujeita a um estudo hidrogeológico: recolha de informação, escolha dos locais para amostragem, análises no campo, análises no laboratório e trabalho de gabinete. (Caroça, 2016^a, 2018^b)

Os dados obtidos foram estudados e interpretados de acordo com as normas e princípios hidrogeológicos,.

Relacionaram-se os dados com os padrões comuns teóricos e legislados, com a geologia e com as actividades no local e/ou próximas, de modo a perceber-se qual a origem físico-química da água analisada, superficial e subterrânea.

A hidrodinâmica consistiu, apenas, na análise comparativa espaço-temporal da superfície piezométrica das massas de água analisadas durante os anos 2011 a 2013.

Os dados obtidos foram apresentados por zonas geográficas e por massas de água.

O modelo conceptual foi elaborado com base nas interacções hidroquímicas e hidrodinâmicas obtidas.

4. CONCLUSÕES

A Várzea da Nazaré revelou a circulação para o seu interior de águas com diferentes fácies hidroquímicas, resultantes não só da geologia local e/ou próxima, como também influenciadas pela contaminação antrópica local e/ou próxima, cujos lixiviados a atravessam (por exemplo, as águas residuais das ETARs de Pataias/Alpedriz, de Fervença e da Nazaré). (Fig. 1)

Mais estudos deverão ser realizados nestes e noutros pontos de amostragem de forma periódica, de forma a perceber-se melhor, se este resultado obtido se mantém ou se novas situações surgem. Só assim, se conseguirá perceber a hidrogeologia desta área e planear a gestão de recursos hídricos.

O modelo conceptual simples elaborado, que não é definitivo, apenas permitiu dar uma ideia geral do circuito geral dos recursos hídricos analisados, as suas características físico-químicas relacionadas com a cartografia geológica publicada na Carta Geológica 26-B de Alcobaça, à escala 1:50000 e com as fontes de contaminação existentes. Este modelo deve ser, no futuro, complementado e/ou rectificado com novos dados.

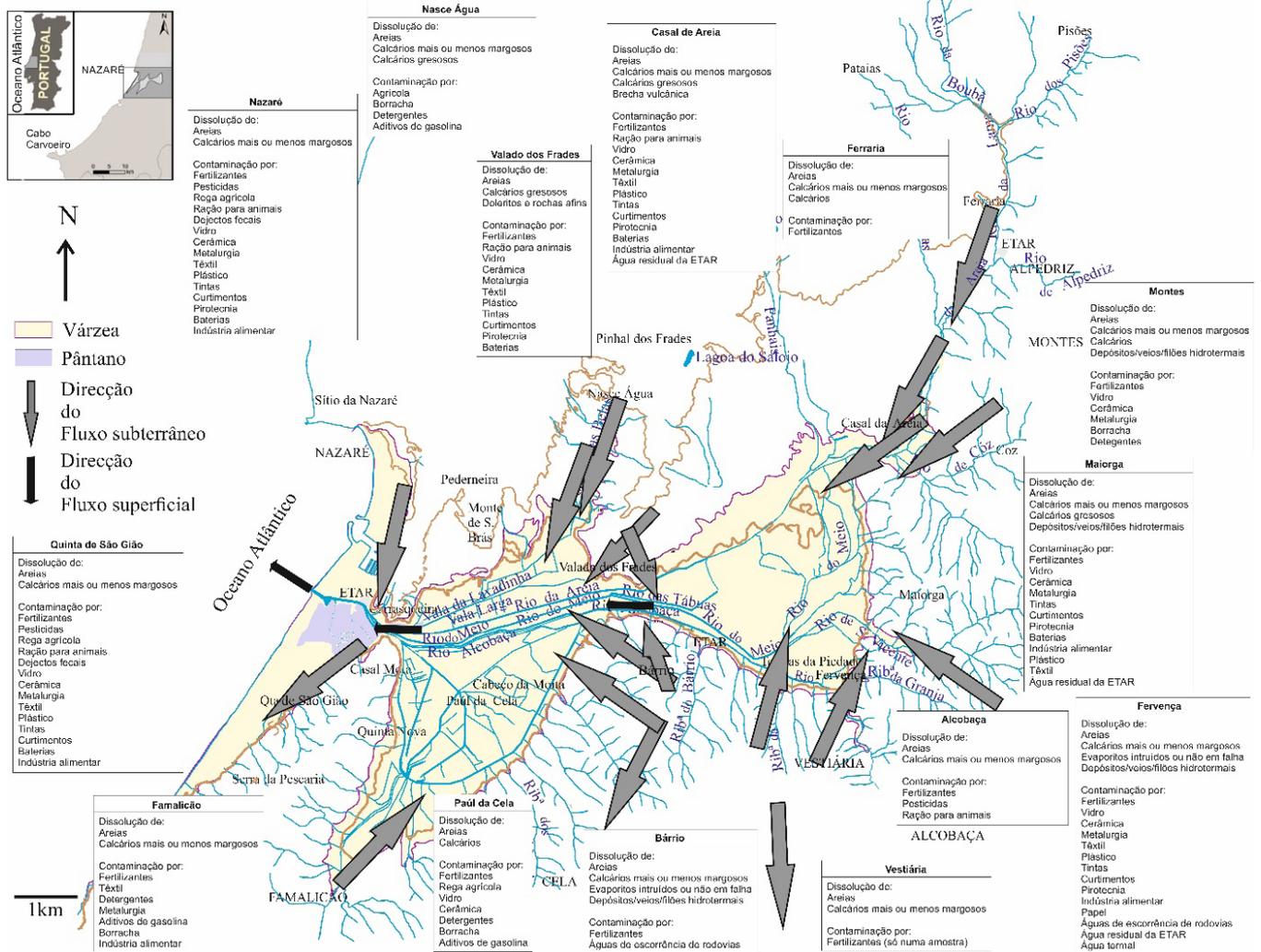


Fig. 1 – Modelo Conceptual simples da Várzea da Nazaré (dados obtidos entre 2011 e 2013).

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Fundação Ciência & Tecnologia (FCT) pelo apoio dado através da concessão de Bolsa de Doutoramento (SFRH/BD/70957/2010) e a todos que forneceram as informações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Appelo, C.A.J., Postma, D. (1993) *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, A.A. Balkema, Holanda, p. 536.
- ARH Tejo I.P. (2011): Relatório do Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – Síntese para Consulta Pública», ARH Tejo I.P., Lisboa, p. 216.
- ARH Tejo I.P. (2011): Relatório do Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – Avaliação Ambiental Estratégica – resumo não técnico, ARH Tejo I.P, Lisboa, p. 23.
- ARH Tejo I.P. (2011): Relatório do Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste – Fichas de Diagnóstico – Síntese para Consulta Pública – versão extensa, ARH Tejo I.P., Lisboa, p. 56.
- Brassington, F.C., Younger, P.L. (2009): A proposed framework for hydrogeological conceptual modelling, *in* Water and Environment Journal. Print ISSN 1747-6585, Water and Environment Journal 24 (2010) 261–273_c 2009 The Authors. Water and Environment Journal_c 2009 CIWEM
- Brookins, D.G., (1988): *Eh-pH Diagrams for geochemistry*, Springer-Verlag Berlin Heideberg. Nova Iorque, p. 176.

- Brownlow, A. (1996): *Geochemistry*, Prentice Hall, 2.^a Ed., Nova Jérсия, pp. 85-115.
- Caroça, C. (2015^a): Recursos Hídricos superficiais vs subterrâneos na Várzea da Nazaré - Implicações na qualidade da Água, 1.^a versão da dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia (especialidade em Hidrogeologia), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2015, Lisboa, p.336.
- Caroça, C. (2016^a): Recursos Hídricos superficiais vs subterrâneos na Várzea da Nazaré - Implicações na qualidade da Água, dissertação para obtenção do grau de doutor em Geologia (especialidade em Hidrogeologia), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2016, Lisboa, p.538.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1983): *Hidrologia Subterránea*, Ediciones Omega, S.A., 2.^o Ed, Tomo I XXXIII, Platón 26 – Barcelona, p. 1157
- Custodio, E., Llamas, M.R. (1983): *Hidrologia Subterránea*, Ediciones Omega, S.A., 2.^o Ed, Tomo II XXXII, Platón 26 – Barcelona, pp. 1166-2359
- Custodio, E., Llamas, M.R., (1996): *Hidrologia Subterránea*. Ediciones Omega, S.A., 2.^o Ed, Tomo II – Barcelona, pp. 1984-1931
- Davis, S.N., Dewiest, R.J.M., (1996): *Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Inc., Nova York, p. 463
- Drever, J. I. (1997): *The geochemistry of natural waters surface and groundwater environments*, 3.^a Ed., Prentice Hall, EUA, p. 436
- Drever, J. (1988): *The Geochemistry of natural waters*, Prentice Hall, Nova Jérсия, pp. 367-381
- Fetter, C. W. (2001): *Applied Hydrogeology*. 4.^a Ed., Pearson Educational International, Merrill Publishing Company, EUA, p. 598
- Fetter, C. W. (2008): *Contaminant Hydrogeology*, 2.^a ed., Waveland Press, Inc., USA, p. 500
- França, J., Zbysweski, G. (1963): *Notícia Explicativa da folha 26-B Alcobaça da Carta Geológica de Portugal*, à escala 1:50000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, p. 51
- Lafuente, J. C. (1981): *Química del Agua*, Talleres Gráficos Alonso, Madrid, p. 423
- Langmuir, D. (1997): *Aqueous Environmental Geochemistry*, Prentice Hall, EUA, p. 600
- Matheus, G. (1982): *The properties of groundwater*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, EUA, p. 406
- Mazor, E. (1997): *Chemical and isotopic groundwater hydrology the applied approach*, 2.^a ed., Marcel Dekker, Inc, Nova Iorque, pp.90-93 e pp.168-195
- Reimann, C., Caritat, P. (1998): *Chemical Elements in the Environment – Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemanha, p. 398
- S.G.P. (1961): *Carta Geológica de Portugal Continental*, escala 1/50000, Serviços Geológicos de Portugal, Folha 26B – Alcobaça, 1.^a Ed.
- Train, R. E. (1979): *Quality Criteria for Water*, Printed by Billing & Sons LTD, Castle House Publications LTD, Great Britain, p. 256

LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei n.º 117/2015, de 23 de Junho

Decreto-Lei n.º 347/2007, de 19 de Outubro

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000

REFERÊNCIAS INTERNET

- APHA, AWWA, WEF (2012): *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22.^o Ed., Washington: American Public Health Association, p. 1360. Disponível em: <http://www.standardmethods.org/>; 27/03/2014
- Craig, H. (1961): «Isotopic Variations in Meteoric Waters», *Science* 26 Maio, Vol. 133, Issue 3465, pp. 1702-1703. Disponível em: <http://science.sciencemag.org/content/133/3465/1702>; 18/03/2016
- Kullberg, J. C. (2000): «Evolução tectónica Mesozóica da Bacia Lusitânica». Tese Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, p. 361. Disponível em: <http://run.unl.pt/handle/10362/4670>; 02/12/2014
- WHO (2011): *Guidelines for Drinking-water Quality*, Fourth Edition, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, World Health Organization, p. 564. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf?ua=1; 25/01/2015

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE EM SISTEMAS AQUÍFEROS - CASO DE ESTUDO NA CIDADE DE TETE (MOÇAMBIQUE)

Ameno BANDE¹, I. Margarida H. R. ANTUNES²

¹ Universidade Pedagógica, Delegação de Tete, Moçambique

ameno1000@yahoo.com.br

² ICT/Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710 - 057 Braga, Portugal

*imantunes@dct.uminho.pt

RESUMO

A água constitui um recurso essencial e indispensável, em quantidade e em qualidade adequadas, às necessidades dos seres vivos. Contudo, a disponibilidade quantitativa e qualitativa da água nem sempre contempla as exigências locais sendo a água subterrânea, muitas vezes, considerada como um recurso invulnerável.

Este trabalho tem por principal objetivo o estudo da vulnerabilidade do sistema aquífero do Vale de Nhartanda na Cidade de Tete (Moçambique), através da aplicação dos métodos de vulnerabilidade com os acrónimos GOD (G – groundwater occurrence; O – overall aquifer class; D – depth to groundwater) e DRASTIC (D – depth to water; R – recharge; A – aquifer media; S – soil media; T – topography; I – impact of the vadose zone; C – hydraulic conductivity). O Vale de Nhartanda corresponde a uma planície de inundação, com uma área aproximada de 6,8 km² e altitude entre 125-130 m, onde é feita a captação de água para abastecimento público da Cidade de Tete “antiga”. Ao longo deste vale desenvolvem-se diversas atividades de agro-pecuária tradicional, cuja rega é garantida pela água extraída a partir de poços artesanais e águas residuais domésticas provenientes das áreas adjacentes do Vale de Nhartanda. Estas atividades, conjuntamente com outras que ocorrem na região, podem comprometer a qualidade da água superficial e subterrânea disponível.

Na avaliação da qualidade da água no Vale de Nhartanda foram realizadas determinações “*in situ*” e laboratoriais, em água de poços e furos, previamente selecionados e georreferenciados. Posteriormente, foram determinados os índices de vulnerabilidade do sistema aquífero, através da aplicação dos métodos GOD, em poços, e DRASTIC, em furos. Os índices de vulnerabilidade obtidos para o aquífero livre do Vale de Nhartanda indicam uma vulnerabilidade alta e muito alta para toda a área com ambos os métodos aplicados. De referir, ainda, que na estação quente e húmida, o índice de vulnerabilidade pode atingir o seu nível extremo mais elevado, sendo a água do aquífero facilmente contaminada por microrganismos e outras substâncias contaminantes.

Tendo em conta os resultados obtidos, é exigida a aplicação, em toda a área do Vale de Nhartanda, de um conjunto de ações e medidas de proteção especial, protegendo a água do sistema aquífero de forma a não contaminar e impossibilitar o abastecimento de água potável para consumo humano. Estas ações passam necessariamente pela consciencialização socio-ambiental das autoridades locais e da população, com a aplicação de medidas de fiscalização adequadas.

Palavras-Chave: vulnerabilidade; GOD; DRASTIC; Vale de Nhartanda; Moçambique

IMPACT OF PRECIPITATION PATTERN CHANGES IN THE GROUNDWATER QUALITY AT ALUVIÕES DO TEJO AQUIFER

Teresa E. LEITÃO¹, Maria José HENRIQUES¹, Manuel M. OLIVEIRA¹ and Ricardo LOURENÇO²

¹Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal (Email: tleitao@lnec.pt, mjhenriques@lnec.pt, moliveira@lnec.pt)

²Trainee at LNEC from October 2018 to January 2019 (Email: ricardojslourengo@gmail.com)

ABSTRACT

In order to assess the potential impact that climate changes might have in the groundwater chemistry, the objective of this study was to evaluate how did the past decade 2000-2009 climatic variation affect the groundwater quality of Aluviões do Tejo shallow aquifer.

The main conclusion that can be drawn from this brief analysis is that during dry periods the contaminants introduced in the soil, originated from agriculture practices or others, are temporarily retained in the soil horizon until the next wet period leaches them to the saturated zone. The time lag between the introduction of contaminants and the increase in groundwater concentrations depends on the groundwater level and the permeability of the geological formations and several other aspects included in a classic vulnerability assessment.

Key-words: precipitation pattern; groundwater quality; climatic variation; Aluviões do Tejo

1. INTRODUCTION

The objective of this study is to analyse the impact that past climatic variation (driver) had in the groundwater quality of the Aluviões do Tejo aquifer system. The main pressure considered was the precipitation changes with the consequent variation in the groundwater recharge. The chemical variables selected to assess the quality status were the electrical conductivity (EC), nitrate (NO_3^-) and chloride (Cl^-).

For this study the 2000-2009 decade was chosen due to the existence of two drought hydrologic years, in 2004/05 and 2007/08, as well as one wet year, in 2000/01, measured at the meteorological station of Salvaterra de Magos.

Considering that the studied area is mainly an agriculture area, it is expected that the changes in the precipitation, and therefore in the natural recharge, will impact in the nutrients (mainly nitrate) leaching to the groundwater. Therefore, nitrate concentrations can be a good tracer to assess the quality status, EC can give a broader idea of changes in water mineralization, and Cl^- is a conservative tracer that can be used for comparison.

It is expected that, if recharge values are below the average and the same amount of fertilizer is applied, nutrient's concentration in the soil and recharge water increase. However, groundwater is not immediately affected due to the nutrients travel time until the saturated zone. The following recharge episodes are likely to push further down nutrients and therefore increase groundwater nutrients concentration. During the dry years, the groundwater can even show a decrease in nutrients explainable by the small recharge in comparison to the groundwater flow that brings less contaminated water from other parts of the aquifer not affected by agriculture.

2. ALUVIÕES DO TEJO AQUIFER DESCRIPTION

Aluviões do Tejo aquifer has an area of 1051.88 km². It is an intergranular and multilayer unconfined aquifer, confined in some restricted areas. It is composed of alluvial deposits from the Holocene and fluvial deposits from the Pleistocene. Lopo Mendonça (1990) considered three dominant lithologies in the aquifer, from top to bottom: (1) sand and mud, (2) mud, and (3) sand and gravel. Simões (1998) and Almeida et al. (2000) refer that the Tagus river behaves like a long longitudinal drain that is fed by the upmost layers of this aquifer.

According to Lobo-Ferreira et al. (2011), the mean annual recharge of this aquifer is 217.87 hm³/year, which is about 1/3 of the mean annual precipitation (654 hm³/year or 621.7 mm/year) in the area. The groundwater consumption in the area is about 90 hm³/year: 17.2 hm³/year for public water supply, 3.7 hm³/year for industry, 0.3 hm³/year for livestock and 68.4 hm³/year for agriculture (76%). The groundwater abstractions represent circa 40% of mean annual recharge, not considering the recharge water coming from agriculture irrigation surplus which was evaluated as 23.8 hm³/year (cf. Lobo-Ferreira et al., 2011).

From the analysis of the results obtained for three-decade monitoring time series, Lobo-Ferreira et al. (2011) concluded that no piezometer with long series tends to show decreasing level trends. Another important conclusion drawn by the same authors is that there is a clear seasonal groundwater level oscillation demonstrating the wet season recharge effect, where groundwater levels increase, and the dry season when groundwater abstraction for agriculture increases, therefore causing groundwater level decreases.

Aluviões do Tejo land cover area is mainly agricultural, with some mixed forest zones. The agricultural areas are heterogeneous and comprise complex cultivation patterns depending on the market prices, which can be permanently irrigated or not. Crops include tomato, lettuce, corn, and rice, among others.

3. WATER QUALITY RESULTS

The data existing for the 2000-2009 decade refer to 56 wells monitored each semester by APA, usually in the month of March (the end of the wet period) and in the month of September (the end of the dry period). There are some years where the data was collected a month before or after those dates, but the results were considered (and plotted) in the same dates, i.e. representing the end periods of the wet season or of the dry season. There are many gaps of information in this series of data, making difficult a direct comparison between years.

Figure 1 presents the results obtained for the average concentration of chloride and nitrate, as well as electrical conductivity data, versus the annual precipitation. The results refer to all wells with data.

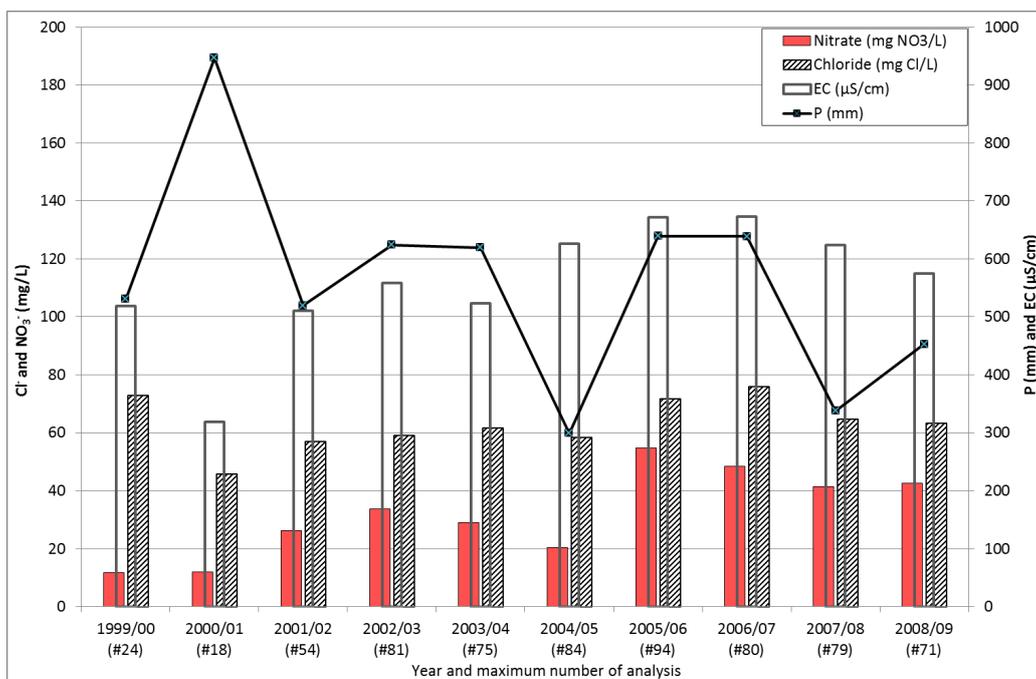


Figure 1. Groundwater chemical concentrations versus precipitation

In Figure 1 it is possible to identify two different concentrations, before and after 2004/05. This is more evident for the

case of nitrate, which shows an average concentration of 22.2 mgNO₃⁻/L until 2004/05 and 46.8 mgNO₃⁻/L after that. It is likely that the low precipitation during 2004/05, and therefore natural recharge, has led to an accumulation of fertilizers (including N) in the soil profile. In 2005/06, a hydrologic year with average precipitation, those fertilizers were leached to lower soil profiles reaching the groundwater and leading to an increase in the nitrate concentration, which slowly decreased in the following years until 2008/09, another year that follows a dry hydrologic year of 2007/08.

The values of EC have also higher values after the 2004/05. This is possibly due to similar reasons. Besides, the higher values of EC and Cl⁻ can also be a consequence of the increase in the use of groundwater for irrigation (a more mineralized water when compared to recharge water) used to compensate the absence of precipitation and to respond the higher crop needs associated with the drier conditions.

The groundwater concentrations have shown different behaviours amongst the wells monitored for groundwater quality. Figure 2 and Figure 3 show an example of wells where the decrease in nitrate concentration is clear for the years 2004 and/or 2005 and subsequent increase in the next years.

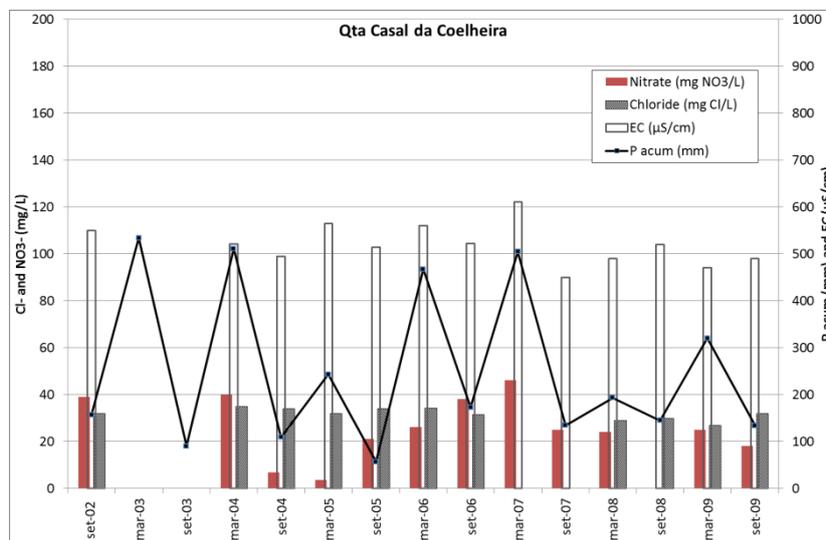


Figure 2. Nitrate and chloride concentrations and electrical conductivity values in 2000-2009 decade, Casal da Coelhoira well

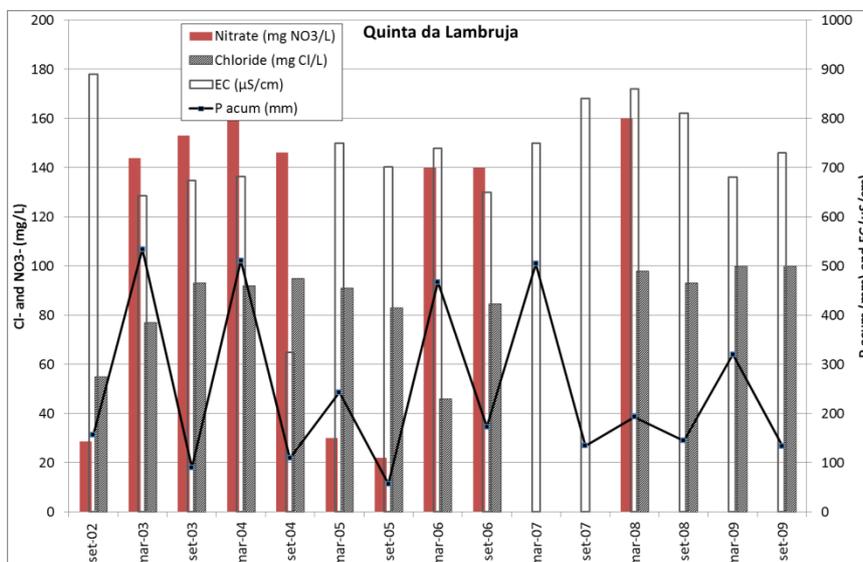


Figure 3. Nitrate and chloride concentrations and electrical conductivity values in 2000-2009 decade, Quinta da Lambruja well

The changes observed in the water quality can also result from several other factors besides climatic conditions.

During the analysed period (2000-2009) there were new rules established by the code of good practices for agriculture which imposed restrictions in fertilisation amounts and periods. It is likely that this happened after the area being declared as a vulnerable zone, in 2004 (Portaria 1100/2004). However, what is observed after 2004 is an increase of nitrate concentration that cannot be justified with the possible new practices since those would contribute to diminish the nitrate application and therefore concentration in groundwater.

The land cover changes analysed are not considered relevant due to the limited areas with changes. However, changes in specific crop types within the same land cover class might have had a role (not investigated).

The monitoring wells can also be affected by the existing pressures, such as septic tanks, livestock, among others. However, there are no registers of important changes during those years that could interfere with the relative comparison made in this study.

4. CONCLUSIONS

The main conclusion that can be drawn from this brief analysis is that during dry periods the contaminants introduced in the soil, originated from agriculture practices or others, are temporarily retained in the soil horizon until the next wet period leaches them to the saturated zone. The time lag between the introduction of contaminants and the increase in groundwater concentrations depends on the groundwater level and the permeability of the geological formations and several other aspects included in a classic vulnerability assessment.

In this case-study, response measures are not considered a concern, if only the expected changes in precipitation pattern are considered as the driver. As a matter of fact, in this case-study the only concern that can be highlighted is the temporary increase in nitrate concentration in groundwater that may endanger/jeopardise the achievement of Groundwater Good Chemical Status in this Nitrate Vulnerable Zone.

ACKNOWLEDGMENTS

The work presented was developed under Project BINGO project (Bringing INnovation to onGOing water management – A better future under climate change), of the Horizon 2020 Program of the European Union. The authors would like to express their gratitude to the Portuguese Water Authority (APA) for providing the data. The authors would like to thank Dr. J.P. Lobo Ferreira for his contribution and revision of the text.

REFERENCES

- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000 - Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Centro de Geologia e Instituto da Água, Dezembro 2000, 661 p.
- BINGO, 2016 - Deliverable D3.1 Characterization of the Catchments and the Water systems, WP3: Integrated Analysis of the Water Cycle, 98 pp.
- Lobo Ferreira, J.P., Pinto, I.V., Monteiro, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Nunes, L., Novo, M.E., Salvador, N., Nunes, J.F., Pombo, S., Silva, M.F., Igreja, A., Henriques, M.J., Silva, D., Oliveira, L., Martins, T., Martins, J., Braceiro, A., Henriques, R.S., Martins, R., 2011 - Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos - Conteúdos para Consulta Pública do PGRH Tejo. Versão alargada. Relatório Hidroprojecto-LNEC-ICCE, PBH Rib. Oeste, Maio de 2011, 172 pp.
- Lopo Mendonça, J.J., 1990 - Sistema Aquífero Aluvionar do Vale do Tejo (V.N. da Barquinha a Alverca): Características e Funcionamento Hidráulico. Dissertação apresentada à Univ. de Coimbra para obtenção do grau de doutor em Geologia. Coimbra. 343 p.
- Portaria 1100/2004 - Aprova a Lista das Zonas Vulneráveis e as Cartas das Zonas Vulneráveis do Território Português, Diário da República n.º 208/2004, Série I-B de 3 de Setembro.
- Simões, M. M. M., 1998 - Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Cenozóico na Bacia do Baixo Tejo. Tese de Doutoramento. Universidade Nova de Lisboa.

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DO CAMPO MILITAR DE SANTA MARGARIDA (CENTRO – PORTUGAL)

Orquídia NEVES¹, José Manuel MARQUES¹, Patrícia PEREIRA¹, Eduardo FERRÃO², Paula FIGUEIREDO², Duarte DIAS²

1. CERENA, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, orquidia.neves@tecnico.ulisboa.pt; jose.marques@tecnico.ulisboa.pt

2. CINAMIL, Academia Militar, Rua Gomes Freire, 1150-244, Lisboa, Portugal, cip.figueiredo@sapo.pt

RESUMO

A qualidade da água e a sua (re)utilização são temas centrais nas preocupações da gestão dos recursos hídricos. A deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas é um impacto ambiental associado mundialmente a inúmeros Campos de Treino Militar. O Campo Militar de Santa Margarida (CMSM - Portugal) pratica várias medidas de forma a reduzir a sua pegada ambiental e promove estudos que avaliam o impacto das suas actividades antes da tomada de decisão. O estudo realizado permitiu verificar que apesar de existirem indícios de elevada carga metálica nos solos, onde se praticam várias actividades militares, as águas superficiais e subterrâneas, amostradas entre 2015 e 2016, revelaram boa qualidade química e com possibilidade de serem utilizadas para diferentes usos. O Cl^- e o NO_3^- foram os únicos parâmetros que revelaram pontualmente valores ligeiramente acima dos recomendados na legislação. A reutilização das águas tratadas na ETAR do CMSM para rega agrícola e paisagística pode constituir um benefício socio-económico, depois de avaliada a sua segurança viral e equacionada a sua mistura com outra fonte de água para reduzir pontualmente casos de concentração de NO_3^- , acima dos valores limite de emissão para águas residuais. Face aos dados disponíveis recomenda-se a monitorização contínua deste parâmetro nas águas residuais tratadas da ETAR.

Palavras-Chave: águas superficiais e subterrâneas; qualidade; contaminação; metais; Campo Militar de St^a. Margarida.

1. INTRODUÇÃO

Os Campos de treino militar são instalações que proporcionam exercícios de treino e de operações táticas. A utilização continuada dos mesmos terrenos, pode levar á degradação de locais específicos e contaminações, associadas à presença de metais e compostos orgânicos, que podem deteriorar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

O Campo Militar de Santa Margarida (CMSM), criado em 1952 e situado na margem Sul do Rio Tejo, Distrito de Santarém (Fig. 1), é uma das maiores instalações militares da Europa e a maior instalação militar Portuguesa em termos de guarnição (atualmente com 75 civis e 1359 militares). O CMSM apresenta uma área de 67 km² e está fisicamente dividido em duas zonas: uma urbana (fundamentalmente ocupada por aquartelamentos) e uma extensa zona de treino militar que inclui, entre outras, zonas de exercícios táticos e de fogo real para unidades mecanizadas, várias carreiras de tiro de armamento ligeiro e pesado. O CMSM encontra-se inserido numa das três grandes Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental que é a Bacia do Tejo-Sado. A maioria dos furos implementados neste sistema aquífero capta água das areias e cascalheiras da base dos depósitos aluvionares e terraços, que são as unidades mais transmissivas.

No CMSM o abastecimento de água para consumo humano é feito através do sistema de abastecimento público municipal (água da rede), mas a água captada a partir de furos de extracção é utilizada para rega, para manutenção da piscina e para lavagem de viaturas. A possibilidade de reutilização da água tratada na Estação de Tratamento de Águas Residuais instalada no campo (ETAR- CMSM), para rega do espaço agrícola do Monte da Ervideira ou dos caminhos de terra por onde circulam os veículos motorizados, poderá vir a constituir um benefício sócio-económico.



Fig. 1. Localização (a) e vista aérea do CMSM (b) (Ordem dos Engenheiros)

No âmbito do Projeto de I&D RASA, financiado pelo Estado Maior do Exército, o principal objectivo deste estudo foi prosseguir com a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do CMSM, no seguimento dos trabalhos de I&D apresentados por Matias et al. (2008). Pretende-se dar continuidade à contribuição para o cumprimento da Política Ambiental definida pelo CMSM, que inclui a prevenção da contaminação e a sua sustentabilidade, tendo em conta o funcionamento desta Instalação Militar e as actividades associadas ao treino militar, após 60 anos de utilização.

2. AMOSTRAGEM E MÉTODOS

No decorrer de 2015 e 2016 procedeu-se à amostragem de águas superficiais e subterrâneas (nos meses de Outubro e Setembro, respectivamente), em nascentes, ribeiras, furos de extracção e na ETAR-CMSM, que se encontram localizados dentro da área do CMSM. A Temperatura (T, °C), Potencial de Hidrogénio (pH), Potencial de Oxidação-Redução (Eh, mV) e Condutividade Eléctrica (CE, $\mu\text{S}/\text{cm}$) foram medidos *in situ*. As amostras de água foram submetidas a refrigeração a 4 °C, até ao momento de análise e conservação no laboratório com HNO_3 (c) a $\text{pH} < 2$, quando os parâmetros a determinar o exigiam. Após filtração a 45 μm , várias espécies inorgânicas aniónicas e catiónicas foram analisadas, respectivamente, por cromatografia iónica (IC) no Laboratório de Mineralogia e Petrologia do Instituto Superior Técnico (IST) e por ICP-MS em Laboratório Canadano (Actlabs). Na campanha de 2016 foram recolhidas amostras, em recipiente de vidro escuro, para determinação de 16 hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) que foram analisadas por CG-MS, no Laboratório de Análises de Águas do IST.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Águas superficiais e subterrâneas

As águas subterrâneas amostradas em nascentes (N. dos Porcos, N. da Ervideira, N. do Pratas e N. da ETAR) e no furo da Caniceira apresentam, respectivamente, fácies hidroquímica Na-Cl e Cl/ HCO_3 -Na como resultado dos processos de interação água-rocha associados à circulação profunda das águas e lixiviação de sais minerais (NaCl) depositados nas camadas de cascalho em profundidade. São águas com pH entre 5,3 e 7,6, pouco mineralizadas (resíduo seco: 50 a 342 mg/L e CE: 121 a 425 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e sem indícios de contaminação por metais (Tabela 1), apesar da avaliação química dos solos do CMSM revelar concentrações elevadas de Pb, Cu, Sb, Fe e Al, entre outros elementos (Pereira,

2018). Nas águas apenas se verificaram teores de Cl^- ligeiramente acima do estabelecido na legislação para a água de rega (DL 236/98: 70 mg/L), no furo da Caniceira, N. da Ervideira e N. da ETAR, assim como para o NO_3^- (DL 236/98: 50 mg/L) na N. da Ervideira. Segundo Matias et al. (2008), em 2003, a N. da Ervideira apresentava indícios de contaminação antrópica, evidenciada pelo teor em NO_3^- (179,1 mg/L) e valor mais elevado de CE (538 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Estes resultados estariam relacionados com o solo agrícola a montante (ex. Monte da Ervideira), pelo uso de fertilizantes azotados ou associados a pequenas habitações com fossas sépticas, eventualmente degradadas.

A água superficial da ribeira da Ervideira apresenta fácies $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-/\text{Na}/\text{Ca}$ e valores dos vários parâmetros analisados em conformidade com a legislação em vigor. Comparativamente a 2003 (Matias et al., 2008), a qualidade química desta água melhorou significativamente no que respeita ao teor de Cl^- , o que pode dever-se à influência da água tratada na ETAR, cuja descarga é efectuada para a ribeira da Ervideira, medida sugerida por Matias et al. (2008) como forma de minimizar a sua contaminação.

Tabela 1. Composição química das águas subterrâneas e superficiais amostradas no CMSM, em Setembro 2016.

	HCO_3^- mg/L	Cl^- mg/L	NO_3^- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	Ca mg/L	Na mg/L	Fe mg/L	Al mg/L	Pb e Sb $\mu\text{g}/\text{L}$	Cu $\mu\text{g}/\text{L}$	Zn $\mu\text{g}/\text{L}$
Nasc. dos Porcos*	10,6	69,5	59,8	24,1	12,2	44,6	0,03	< 0,001	< 10	7	28
Nasc. da Ervideira	8,4	76,2	64,7	24,2	18,2	41,0	0,01	< 0,01	< 10	< 2	19
Nasc. do Pratas	22,9	14,4	1,0	1,84	4,7	9,3	0,01	< 0,01	< 10	< 2	17
Nasc. da ETAR	72,6	54,1	10,2	3,66	23,3	30,1	< 0,01	< 0,01	< 10	2	19
Furo da Caniceira	95,8	56,2	0,87	3,97	3,9	54,2	< 0,01	< 0,01	< 10	< 2	9
Rib ^a . da Ervideira	91,8	47,1	33,3	16,0	26,7	39,9	0,03	< 0,01	< 10	3	12

* Outubro de 2015

3.2 Águas da ETAR do CMSM

Na ETAR-CMSM colheram-se amostras antes (ETAR AT) e depois do tratamento secundário (ETAR DT) e a quando da descarga para a Ribeira da Ervideira (ETAR DR). Na Fig 2 apresenta-se a composição aniónica e catiónica maioritária das águas amostradas na ETAR-CMSM, onde se pode observar que o tratamento secundário realizado é eficaz na redução da carga iónica. Não se registaram, igualmente, teores significativos de elementos considerados potencialmente tóxicos. Em 2016 registou-se, comparativamente a 2015, um aumento da SO_4^{2-} e Na^+ , ainda que os valores de todos os parâmetros analisados sejam inferiores ao valor limite de emissão (VLE), para a descarga de águas residuais e o estabelecido para rega.

Entre Janeiro de 2015 e Junho de 2016, o Núcleo de Protecção Ambiental do CMSM enviou regularmente para análise amostras de água residual da ETAR para dosear a concentração de CBO_5 , óleos e gorduras, azoto e fósforo total, detergentes, nitritos e nitratos. Os resultados indicam que o NO_3^- (20 a 67 mg/L) é o único parâmetro que nalgumas descargas excede ligeiramente os limites estabelecidos na legislação (VLE e VMR: 50 mg/L), pelo que é um parâmetro que deve continuar a ser monitorizado.

A semelhança entre as características físico-químicas das águas de descarga da ETAR e da água da Ribeira da Ervideira, indica a influência que a água tratada proveniente da ETAR tem na qualidade da água da ribeira, pelo que se pode assumir que a sua melhoria, em relação a 2003, está associada à mistura com a água de descarga da ETAR.

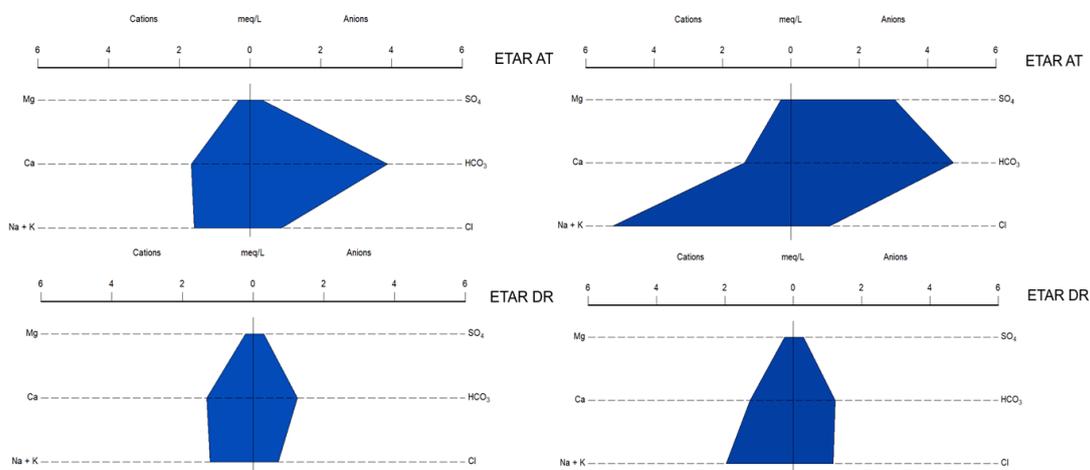


Fig. 3. Diagrama Stiff das águas da ETAR-CMSM amostradas em 2015 (esquerda) e 2016 (direita).

Na água ETAR-DR, entre os PAHs analisados em 2016, em todas as amostras, apenas se detetou fluoranteno, apresentando concentração de 0,035 µg/L, sendo no entanto inferior ao estipulado pela legislação (DL 306/2007). A origem deste PHA pode ser natural ou antrópica. Estes compostos são sintetizados por algumas espécies de algas, bactérias e plantas ou do resultado da combustão incompleta de compostos orgânicos (Monte et al., 2016). Neste caso, a presença deste PAH pode ter origem natural devido à sua sintetização através do tratamento bacteriológico que a água está sujeita na ETAR. No decorrer deste estudo foi também analisada a concentração de ovos de parasitas intestinais, que se mostrou inferior ao estabelecido na legislação para rega (VMA: 1/L). Tendo em atenção o objectivo da água residual tratada poder vir a ser reutilizada para rega, no âmbito do Projecto RASA a equipa do C²TN/IST procedeu à avaliação da sua carga viral, cujos resultados serão apresentados noutra publicação.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, não se verifica que as actividades desenvolvidas no CMSM sejam uma fonte de contaminação química para as águas superficiais e subterrâneas, não constituindo por isso risco ambiental. A reutilização da água da ETAR para fins de rega agrícola e paisagística pode constituir um benefício socio-económico depois de equacionada a sua mistura com outra fonte de água, para reduzir a concentração de nitrato e depois de avaliada a sua segurança viral. Os resultados deste estudo contribuem para a sustentabilidade do Sistema de Gestão Ambiental do CMSM, o qual se encontra certificado pela Associação Portuguesa de Certificação (APCER), de acordo com a Norma Internacional NP EN ISO 14001.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Estado Maior do Exército o financiamento através do Projeto de I&D “RASA – Riscos associados aos solos e sistemas aquíferos do Campo Militar de Santa Margarida”. Os autores agradecem ainda o apoio logístico do CMSM. O CERENA/IST reconhece o apoio da FCT através do projecto FCT UID/ECI/04028/2019.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Matias M.J., Marques J.M., Figueiredo P., Basto M.J., Abreu M.M., Carreira P.M., Ribeiro C., Flambó A., Feliciano J. & Vicente E.M. (2008). Assessment of pollution risk ascribed to Santa Margarida Military Camp activities (Portugal). *Environmental Geology*. DOI 10.1007/s00254-008-1222-3.
- Monte H., Santos M.T., Barreiros A., Albuquerque A. (2016). Tratamento de Águas Residuais – Operações e Processos de



Tratamento Físico e Químico. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Universidade da Beira Interior. Lisboa, Dezembro de 2016

Pereira A.R.B (2018). Riscos Associados aos solos do Campo Militar de Santa Margarida. Tese Mestrado em Eng^a Geológica e de Minas. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

LEGISLAÇÃO

Dec.-Lei n 236/98 de 1 de Agosto. Diário da República – I Série A, N.º 176 – 1 Agosto de 1998. Anexos XVI, XVIII e XXI.

REFERÊNCIAS INTERNET

Ordem dos Engenheiros. Disponível em <http://www.ordemengenheiros.pt/pt/centro-de-informacao/dossiers/historias-da-engenharia/engenharia-militar/> > Acesso em 15 de janeiro de 2019

CARTA DE UNIDADES AQUÍFERAS DO MUNICÍPIO DE BROTAS, SP, BRASIL: SUBSÍDIOS AO PLANEAMENTO TERRITORIAL

João Vitor Roque GUERRERO¹, Reinaldo LORANDI¹, Luiz Eduardo MOSCHINI¹, Antonio Alberto Teixeira GOMES², José Augusto de LOLLO³

1. Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís, s/n, São Carlos – SP. jvguerrero2@gmail.com; lorandir@gmail.com; lemoschini@ufscar.br.

2. Universidade do Porto. Via Panorâmica Edgar Cardoso, 4150-564 Porto. albgomes@gmail.com

3. Universidade Estadual Paulista. Av. Brasil Sul, 56 - Centro, Ilha Solteira - SP, 15385-000. jose.lollo@unesp.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a elaboração da Carta de Unidades Aquíferas do município de Brotas, SP, Brasil, a partir da utilização de técnicas de cartografia geoambiental. Para tal, foi necessário obter, analisar e reclassificar dados primários como Mapa Pedológico e Mapa de Formações Geológicas de Superfície, adotando como critérios a atribuição de unidades aquíferas às suas respectivas classes de formação geológica superficial. Como resultado, a carta gerada reforçou a necessidade de se elaborar estudos de gestão dos recursos hídricos para minimizar a possibilidade futura de ocorrer escassez hídrica superficial e subsuperficial. Com tudo, pretende-se que a Carta produzida auxilie os gestores municipais no planejamento territorial municipal e na gestão de atividades visando a conservação das águas subterrâneas em prol do abastecimento para consumo humano.

Palavras-Chave: Aquífero Guarani; Planejamento Territorial; Cartografia Geoambiental;

1. INTRODUÇÃO

A humanidade reconhece os benefícios da utilização das águas subterrâneas desde o seu estado inicial de desenvolvimento, desenvolvendo e aprimorando ferramentas e técnicas para explorar este valioso recurso (HOLTING & COLDEWEY, 2018). Entretanto, os usos mal planejados em áreas de recarga (agricultura intensiva) e a sobreexploração têm causado preocupações globais acerca da qualidade e disponibilidade da água subterrânea para consumo humano (HIRATA, 2009).

O Município de Brotas, SP, Brasil – área de interesse deste trabalho – não foge à estas preocupações, tendo em vista de que a maior parte do abastecimento municipal de água potável é proveniente de recursos hídricos subterrâneos, nomeadamente o Aquífero Guarani, um dos maiores reservatórios do mundo.

Portanto, planejar as ações antrópicas tomadas sobre um determinado território, com base em critérios técnico-científicos é crucial para a manutenção da qualidade dos recursos naturais, principalmente quando aliados a uma política conservacionista (ROSS, 1994). Neste sentido, a Cartografia Geoambiental aplicada às componentes hidrogeológicas emerge como uma ferramenta de estudo imprescindível de diagnóstico e planejamento, tendo em vista que por meio de produtos gráficos, permite um maior conhecimento sobre o movimento, ocorrência, quantidade e qualidade das águas subterrâneas (ROCHA NETO & SAMPAIO, 2014).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi produzir, a partir de técnicas de cartografia geoambiental a Carta de Unidades Aquíferas do município de Brotas, que poderá auxiliar no processo de planejamento e gestão do território e nas consequentes ações para conservação dos recursos hídricos subterrâneos locais.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Brotas está localizado na região central do Estado de São Paulo – sudeste brasileiro (FIGURA 1), abrange uma área de 1103 km² e tem população estimada para 2018 de 24.160 habitantes, o que resulta em uma densidade demográfica de aproximadamente 22 hab/km² (IBGE, 2018).

Dentro da organização hidrográfica estadual, estabelecida pelo Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, o município de Brotas está inserido inteiramente na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 13 (UGRH-13), pertencente à Bacia Hidrográfica do Tietê-Jacaré.

Como também mostra a Figura 1, a geologia superficial local é composta da seguinte forma:

- Formação Botucatu (41 % da área total): arenitos datados do Jura-Cretáceo que apresentam granulação fina a grossa, coloração rósea, avermelhada e esbranquiçada, a sua espessura tem grande variação, porém dificilmente ultrapassa os 150 m e que, nessa região, facilitam a formação e manutenção de aquíferos (CPRM, 2006; São Paulo, 1981).
- Formação Pirambóia (25 % da área): Formação datada do Triássico constituída por sedimentos de formação eólica e fluvio-eólica depositados em áreas de ambiente, outrora desértico. Os arenitos são compostos por diferentes colorações (amarelados, esbranquiçados, avermelhados, róseos) apresentando granulação de média a muito fina (Brughetti, 1994, apud SÃO PAULO, 2016).
- Formação Itaqueri (14 % da área): formação geológica que ocorre de forma irregular na cuesta basáltica paulista, onde as suas áreas mais elevadas são representadas por testemunhos da antiga extensão do Planalto Ocidental Paulista. A maior espessura desta formação resgistada é de 125 m, e a sua estrutura é formada basicamente por arenitos, arenitos com cimento argiloso, folhelhos e conglomerados (ALMEIDA e BARBOSA, 1953 apud SÃO PAULO, 1981).
- Formação Serra Geral (6% da área): também datada do Jura-Cretáceo representa um conjunto de rochas derivadas de derramamentos basálticos com textura afanítica e de coloração predominantemente escura, apresentando, também, intercalações de lentes e camadas arenosas de textura fina a média e extratificação cruzada (LORANDI, et al., 2014).
- Depósitos Colúvio-Eluvionares: caracterizando-se em camadas formadas por materiais (solo e fragmentos de rocha) localizados ao longo e no pé das encostas, transportadas por meio da gravidade e da ação das águas (SCHILLING, 1993).
- Depósitos Aluvionares (2% da área): são depósitos do Quaternário que ocorrem principalmente nos fundos de vale, e são caracterizados por sedimentos transportados e depositados por influência dos movimentos dos rios.

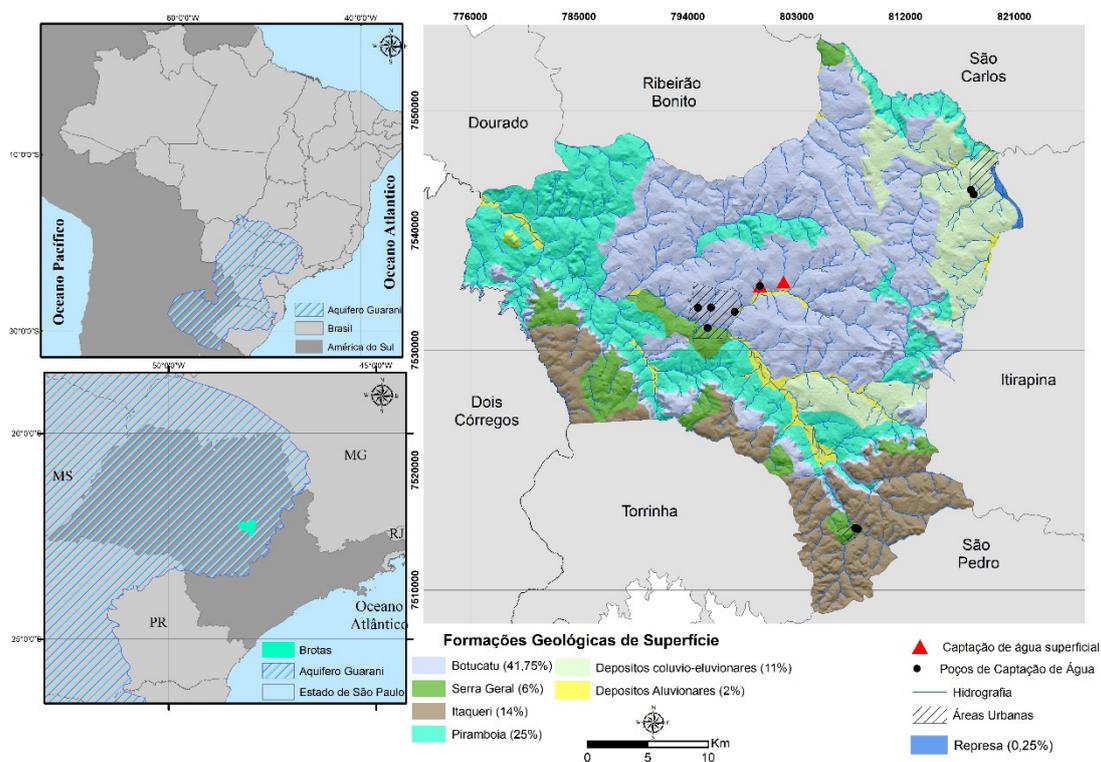


Figura 1 – Mapa de Localização

3. MATERIAIS E MÉTODO

A obtenção do limite geográfico do município de Brotas foi realizado de forma gratuita no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os dados foram armazenados num banco de dados geográficos no software ArcGis 10.5 ® e posteriormente reprojeto para a projeção UTM SIRGAS 2000 zona 22S.

O mapa de Formações Geológicas Superficiais na escala 1:75.000 é proveniente da base de dados denominado “Unidades Básicas de Compartimentação”, produzido e disponibilizado pelo Instituto de Geociências do Estado de São Paulo. Como é um mapa estadual, foi necessário recortar a área de interesse antes de reprojeto os dados no ArcGis 10.6. Já o mapa Pedológico produzido pelo Instituto Agrônomo de Campinas foi digitalizado, reprojeto e inserido na base de dados do projeto.

Por fim, a carta de Unidades Aquíferas foi produzida a partir da análise de dados de Pedologia e de Formações Geológicas superficiais, onde foram inseridos no mapa geológico as formações do Quaternário provenientes do mapa Pedológico.

Após a análise, o mapa de Formações Geológicas Superficiais do município de Brotas (já com o Quaternário) foi reclassificado, atribuindo a cada classe geológica a sua unidade aquífera correspondente. Os critérios para o estabelecimento desta relação foram as características gerais das rochas e a capacidade de cada formação geológica de armazenar e/ou transmitir a água subterrânea no local.

4. RESULTADOS

A partir da aplicação dos procedimentos metodológicos acima descritos, foi obtida a Carta de Unidades Aquíferas do município de Brotas, SP, Brasil, na escala aproximada de 1:75.000 (FIGURA 2). A carta contém dois grupos principais de unidades aquíferas: As unidades granulares e as fraturadas.

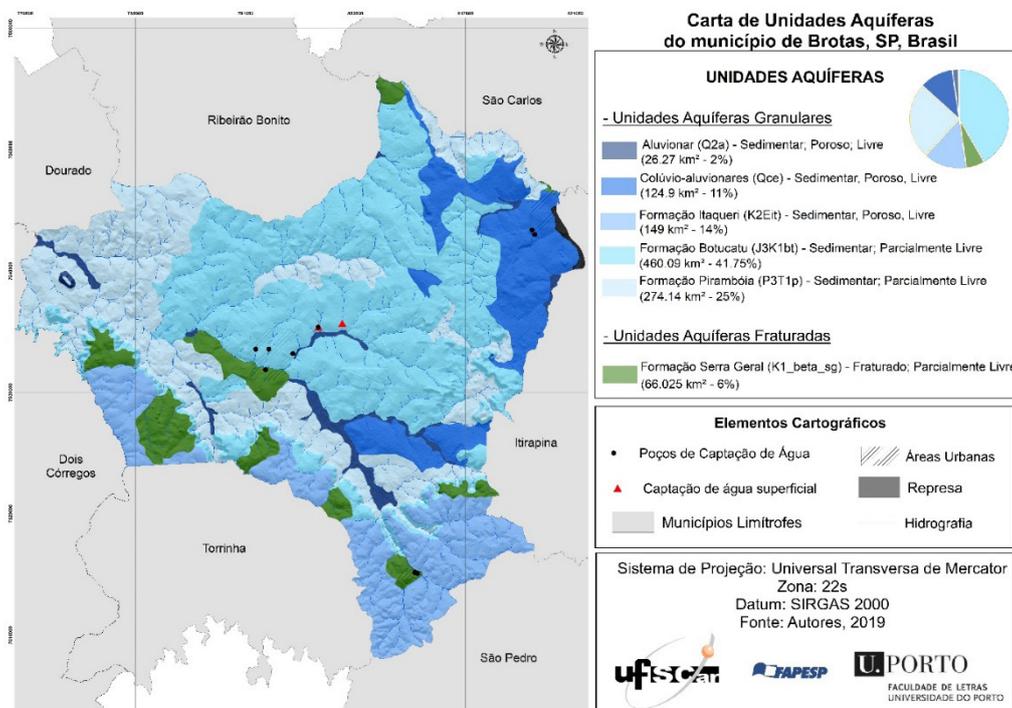


Figura 2 - Carta de Unidades Aquíferas

As unidades fraturadas no município de Brotas são representadas pelo Aquífero Serra Geral, que é formado por derramamentos basálticos que originaram rochas essencialmente impermeáveis. A partir da noção da impermeabilidade,

evidencia-se que as águas subterrâneas nesta unidade ocorrem ao longo das fraturas e falhas causadas por intempéries nas fronteiras com outros tipos de rochas mais permeáveis (CETESB, 2016).

As Unidades Aquíferas Granulares do município de Brotas são formadas pelos aquíferos aluvionar, colúvio-aluvionar, Itaqueri, Botucatu e Pirambóia.

O aquífero aluvionar representa 2% da área de estudo e é derivado dos depósitos de sedimento ocorridos durante o Quaternário, e ocorrem primordialmente nas áreas de fundo de vale devido à ação de transporte e deposição dos sedimentos provenientes de rios da região (LORANDI, et al., 2014). No município de Brotas este aquífero é considerado poroso e livre.

O aquífero colúvio-eluvionar também é derivado de transporte e deposição, porém ocorre nas bases de morros e montanhas, onde o solo coluvionar recobre o solo residual no talude do relevo. No município de Brotas, ocorre em 11% da área.

Já o Aquífero Itaqueri (14% do total), também é considerado como Sedimentar, Poroso e Livre, caracterizando-se por areias de granulação variada que apresentam boa tranmissividade e conseqüente ocorrência de água subterrânea. Devido a altos valores de permeabilidade, os aquíferos Aluvionar, Colúvio-Eluvionar e Itaqueri são naturalmente vulneráveis à contaminação.

Os aquíferos Borucatu e Pirambóia ocupam uma área superior a 56% do território do município e são relativos ao Aquífero Guarani. Então, pode-se afirmar que o aquífero Guarani é sedimentar, poroso e livre, composto essencialmente por arenitos de granulação fina a média. A homogeneidade do arenito facilita o surgimento de poros interconectados que auxiliam no armazenamento de grandes quantidades de água subterrânea (LORANDI, et al, 2014; Iritani e Ezaki, 2008)

5. CONCLUSÕES

A Carta de Unidades Aquíferas produzida demonstrou que aproximadamente 94 % de Brotas tem características sedimentares, resultando principalmente da localização do município em um reverso de cuesta arenito-basáltica na bacia sedimentar do Paraná.

Tendo em consideração que 85 % do município de Brotas é considerado como área de recarga do Aquífero Guarani e a maior parte do uso do solo é composto por atividades agrícolas, estudos desta natureza tornam-se essenciais para garantir a qualidade e a quantidade de água subterrânea disponível.

Assim sendo, a Carta de Unidades Aquíferas do município de Brotas é fundamental para auxiliar na delimitação e restrição de zonas onde é possível ou não inserir atividades antrópicas, principalmente com o interesse em proteger áreas de recarga dos aquíferos, já que o diagnóstico é a primeira ação a ser tomada para o planejamento territorial.

Espera-se que os resultados deste trabalho possam servir como base de planejamento de ações por parte de gestores públicos, em prol da conservação dos recursos hídricos subterrâneos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de recursos financeiros e pela concessão da bolsa de doutoramento, aportados ao Processo no. 2016/19020-0 e da bolsa BEPE-FAPESP, aportada no processo 2018/02836-2

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Holting, B. Cooldewey, W. (2018) Hidrogeology Introduction. In: Hidrogeology, Springer TextBooks in Earth Sciences. 349 p.
- Hirata, R. (2009). Recursos Hídricos. In: Teixeira, W; Fairchild, T.R; Toledo, M.C.M; Taioli, F. Decifrando a Terra. Editora Nacional. 3ª edição. 694p.
- Rocha Neto, M.B.; Sampaio, T.Q. (2014) Apresentação. In: Diniz, J.A.O. Manual de Cartografia Hidrogeológica. Recife. CPRM



– Serviço Geológico do Brasil, 2014.

LORANDI, R; LOLLO, J. A.; GUERRERO, J. V. R. Carta de unidades aquíferas aplicada ao zoneamento (geo)ambiental-Estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Claro (SP).. In: 14o. Congresso Nacional de Geotecnia, 2014, Covilhã. Atas do 14o. Congresso Nacional de Geotecnia. Lisboa - Portugal: Sociedade Portuguesa de Geotecnia, 2014. v. 1. p. 1-10.

SÃO PAULO – INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO (1981) Mapa Geológico do Estado de São Paulo - escala 1:500.000. São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. 2v. (IPT, Série Monografias, 6).

Schilling, G.H. (1993) Instrumentação e Análise dos Movimentos de Escorregamento da Encosta do Soberbo. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 237 p.

REFERÊNCIAS INTERNET

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB. Aquífero Serra Geral. 2016 Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/aquifero-serra-geral/>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). IBGE cidades - Brotas. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/brotas/panorama>

SÃO PAULO – Portal SIG RH. 2006; Geologia. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6381/i_2_1geologia.pdf Acesso em 15/10/2017

CAPTAÇÃO DE MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA ABASTECIMENTO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL EM CANTANHEDE

Mário QUINTA-FERREIRA^{1,2}, José Manuel AZEVEDO^{1,3}, João CARVALHO⁴

1. Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra,

2. Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra; mqf@dct.uc.pt

3. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra; jazevedo@dct.uc.pt

4. Instituto Pedro Nunes, 3000-790 Coimbra; jcarvalho@ipn.pt

RESUMO

Apresentam-se os enquadramentos geológico e hidrogeológico, a prospeção e avaliação do potencial aquífero e os processos recomendados para a captação de águas subterrâneas na zona noroeste de Cantanhede. No domínio em estudo evoluem diversas unidades aquíferas e massas de água subterrâneas: aquíferos superiores associados às formações siliciclásticas do Cenozóico e aquíferos mais profundos implantados nas formações cretácicas ou jurássicas. A seleção dos locais favoráveis à perfuração baseou-se necessariamente em critérios geológicos e hidrogeológicos; contudo, foi fortemente condicionada pelos direitos de propriedade e ocupação do solo. Pretendendo-se um volume diário de exploração acima de 900 m³, sugeriu-se a perfuração de: (1) um único furo se o caudal obtido for igual ou superior a 20 l/s para um período de bombagem de 12 horas ou se o caudal obtido for igual ou superior a 10 l/s para um período de bombagem de 24 horas; (2) dois ou mais furos, caso o somatório dos caudais obtidos fosse igual ou inferior a 10 l/s para um período de bombagem de 24 horas.

Palavras-Chave: Sistema aquífero Cárstico da Bairrada; Areias de Gândara; Aquífero poroso; Furo.

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água a unidades industriais com volumes elevados e com a exigência de boa qualidade favorece na maioria dos casos a implantação de furos de captação de águas subterrâneas. Assim, a seleção de locais para perfuração requer a prospeção e avaliação do potencial aquífero locais, a indicação dos processos de perfuração e o tipo e dimensionamento de captação a construir. Nesta comunicação apresenta-se um caso de estudo neste domínio da Hidrogeologia aplicada.

2. ENQUADRAMENTOS GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

2.1 Geologia

De acordo com os elementos constantes na Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Folha 19-A, Cantanhede (Fig. 1) e respetiva Notícia Explicativa (Barbosa et al., 1988), nos domínios em estudo ocorre a seguinte sequência litoestratigráfica:

- Aluviões (a): as aluviões da bacia hidrográfica do Mondego, junto à margem norte, mostraram, em sondagens, espessuras da ordem dos 20m até ao máximo de 40m. Tanto no Mondego, como na Vala Real e seus subsidiários, existe igualmente um espesso enchimento correspondente ao assoreamento progressivo a partir do Flandriano;

- Areias de Gândara (s.l.) (dd, Ae): abrangem todo o complexo manto eólico, que atualmente se estende por cerca de 19 km para o interior, segundo o paralelo de Cantanhede. Nas Areias de Gândara cartografaram-se vários conjuntos de formas dunares e areias eólicas, que seguidamente se descrevem.

As Dunas (dd) definem edifícios mal conservados, uns protegidos pelo pinhal, outros, progressivamente destruídos pelo homem na conquista de novos campos de cultura.

As Areias hidro-eólicas (Ae) correspondem a parte das areias eólicas da Carta de Vagos e, também, pelo menos em parte, às Areias de Cavaleiros-Mourelas, Tentugal; estas estão igualmente presentes na Formação das Areias de Cantanhede, em alguns dos terraços do Mondego e nas áreas interdunares das Dunas (dd); são areias finas, no geral bem calibradas que se consideram terem sido depositadas em meio subaquático, embora com transporte eólico.

- Areias de Cantanhede (Q²): integram, com as Areias de Arazede, a plataforma de “Cantanhede-Mira”: situam-se a cotas compreendidas entre os 50 m e os 70 m, correspondentes aos níveis Q2 antes cartografados.

- Grés de Furadouro (C³): reconhecem-se duas subunidades: a inferior, essencialmente quartzarenítica, micácea, fina a muito fina, de cor amarela acastanhada, com estratificação laminítica e oblíqua planar de baixo ângulo, praticamente identificável com os “Grés micáceos finos a muito finos”; a superior, é essencialmente subarcosarenítica a arcossarenítica, grosseira a muito grosseira, de cor amarela-torrada, com estratificação entrecruzada curvilínea a oblíqua planar de ângulo médio a elevado e com seixo de quartzo, pequeno, sub-rolado a subanguloso, disposto em cordões de extensão decamétrica.

- Arenitos de Carrascal (C¹⁻²): são no geral quartzarenitos a arcossarenitos grosseiros a muito grosseiros, conglomeráticos, com cascalheiras e seixos, predominantemente quartzosos, mal calibrados a que sucedem, por vezes, leitos pelíticos, de espessura variável, que normalmente preenchem concavidades ou sulcos de escavação. Avaliam-se espessuras de 60 ± 10 m a oriente e de 120 ± 30 m a ocidente, a partir da cartografia.

- Calcários margosos de Póvoa da Lomba (J²1): correspondem a alternâncias de calcários margosos mais ou menos compactos. A espessura das camadas de calcário aumenta progressivamente para o topo, em detrimento das margas.

- Margas calcárias de S. Gião (J¹g): correspondem a uma espessa série (300 m) de margas e calcários margosos tenros originando topografia deprimida com ligeiros relevos devido aos níveis mais resistentes de calcário de plaquetas da base da zona de Serpentinus.

- Calcários margosos de Lemedede (J¹f): esta unidade é formada por alternância de calcários argilosos bastante compactos, de cor cinzenta-amarelada ou esbranquiçada. A espessura é variável, de 40 m a 45 m em Vale das Fontes, a cerca de 50 m em Cantanhede.

- Margas e calcários margosos de Vale das Fontes (J¹ef): no seu conjunto, esta unidade corresponde a alternância de margas e calcários margosos com desenvolvimento local quer de bancadas de calcário compacto pouco espesso, quer de margas xistosas ou grumosas.

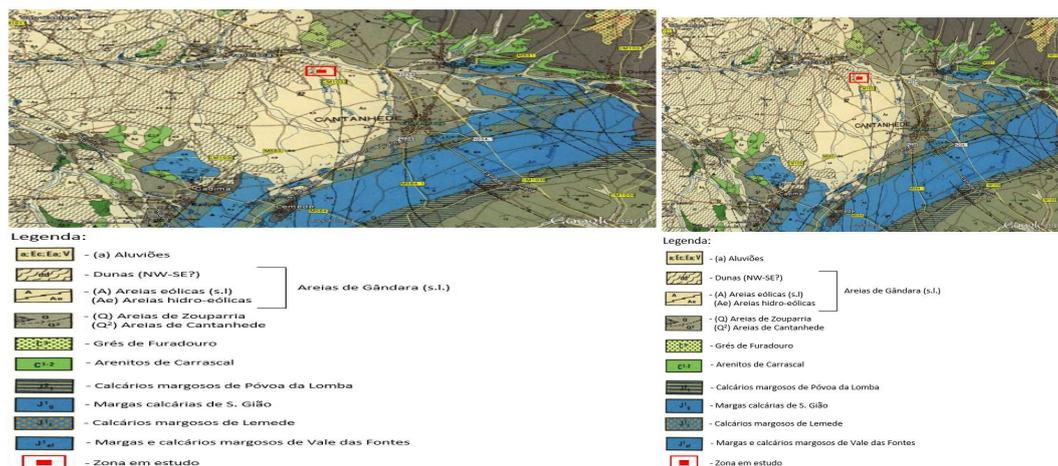


Figura 1 - Enquadramento geológico regional do domínio estudado (extrato da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000, folha 19-A Cantanhede de Barbosa *et al.*, 1988).

No domínio em análise afloram as Areias hidro-eólicas (Ae) e as Areias de Gândara. A espessura desta formação é variável e localmente deverá assentar nas unidades mais antigas do Cretácico e do Jurássico, como se pode interpretar nos cortes geológicos da Carta Geológica, folha 19-A Cantanhede.

2.2 Hidrogeologia e Potencial Aquífero

O domínio em análise integra-se na Unidade hidrogeológica da Orla Ocidental e mais especificamente no Sistema Aquífero Cárstico da Bairrada (03) (Figura 2). Contudo, muitas das unidades aquíferas que ocorrem na zona em estudo não se integram naquele Sistema aquífero estando associadas às Formações das Areias da Gândara e de Cantanhede. De acordo com o enquadramento geológico local, acima descrito, e tendo em conta os parâmetros hidroclimatológicos da região em análise, nomeadamente os valores da precipitação atmosférica anual, próximos dos 1000 mm, segundo o Plano de Gestão da Bacia do Mondego (APA, 2011), que implicam uma considerável recarga aquífera, é possível classificar hidrogeologicamente e indicar o potencial aquífero das diversas litologias ocorrentes (Tabela 1).

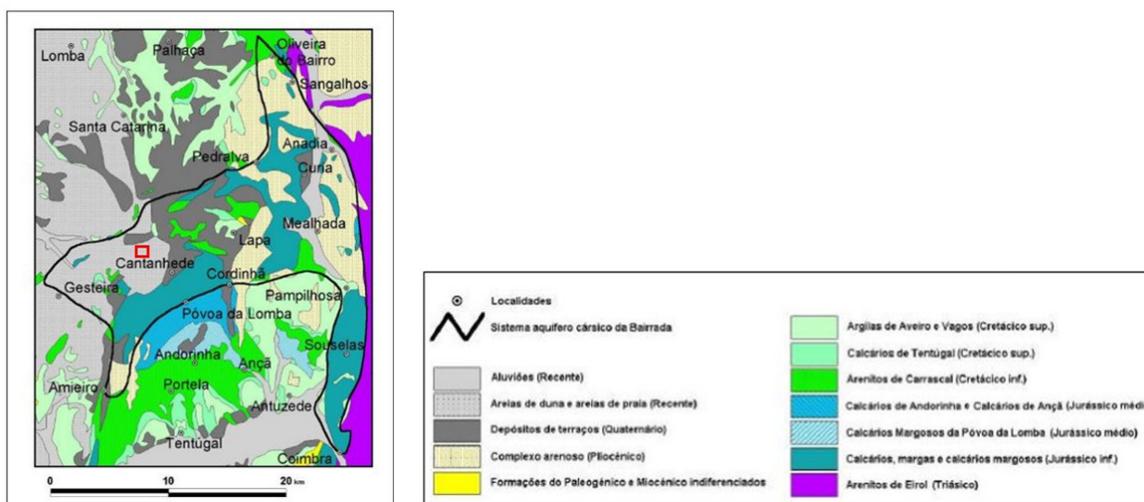


Figura 2 – Enquadramento do domínio em análise (□) no Sistema aquífero Cárstico da Bairrada (Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, SNIRH, 2016).

Tabela 1 – Classificação hidrogeológica e potencial aquífero das litologias ocorrentes no domínio em estudo.

Litologias dominantes	Classificação hidrogeológica Potencial aquífero
Depósitos aluvionares	Aquífero não-confinado. Bom a elevado potencial aquífero.
Areias de Gândara (s.l.) (dd, A _c) e Areias de Cantanhede (Q ²)	Aquífero não-confinado e semiconfinado. Bom a elevado potencial aquífero.
Grés de Furadouro (C ³)	Aquífero confinado. Médio a bom potencial aquífero.
Calcários de Tentugal (C ²⁻³)	Aquífero confinado. Fraco a médio potencial aquífero.
Arenitos de Carrascal (C ¹⁻²)	Aquífero confinado. Médio a bom potencial aquífero.
Calcários, calcários margosos e margas do Jurássico (J ² 1)+(J ¹ g)+(J ¹ f)+(J ¹ ef)	Aquicluso (impermeável a semi-impermeável). Base do sistema aquífero instalado nas formações superiores.

Em função do referido na Tabela 1, recomendou-se:

- efetuar a captação preferencialmente das massas de água e das unidades aquíferas implantadas nas Areias de Gândara (s.l.) (dd, Ae) e Areias de Cantanhede (Q2);

- caso a produtividade das unidades aquíferas referidas anteriormente não se mostrasse suficiente, dever-se-ia avançar para a captação nas unidades inferiores cretácicas - (Grés de Furadouro (C3), Calcários de Tentugal (C2-3), Arenitos de Carrascal (C1-2) ou ainda nas unidades jurássicas.

3. PROCESSOS E ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO

Relativamente ao tipo de captação, tendo por base o referido nos pontos anteriores, recomendou-se a implantação de captações do tipo “furo vertical”. Relativamente ao número de furos a implantar, e considerando que se pretende um volume diário de exploração igual ou superior a 900 m³, sugere-se, por ordem de preferência: - a perfuração de 1 furo, caso o caudal obtido seja igual ou superior a 20 l/s para um período de bombagem de 12 horas; - a perfuração de 1 furo, caso o caudal obtido seja igual ou superior a 10 l/s para um período de bombagem de 24 horas; - 2 ou mais furos, caso o somatório dos caudais obtidos seja igual ou inferior a 10 l/s para um período de bombagem de 24 horas.

Relativamente aos locais para implantação dos furos recomendou-se:

- no caso de implantação de apenas 1 furo (F1), dever-se-ia localizar no extremo Norte - lado oriental do lote da zona industrial;
- no caso de ser necessário a implantação de um segundo furo (F2), dever-se-ia localizar no extremo Sul - lado ocidental do lote da zona industrial;
- no caso de ser necessário a implantação de mais furos, dever-se-ia realizar nova avaliação do terreno em estudo e do enquadramento hidrogeológico local.

4. CADERNO DE ENCARGOS, FURAÇÃO E ENSAIOS DE BOMBAGEM

Para a realização do trabalho foi elaborado um caderno de encargos com os seguintes objetivos: - implantação de um ou mais furos verticais para captação de massas de água subterrâneas para abastecimento industrial; - produção de um volume diário próximo ou superior a 900 m³; - captação de água com qualidade compatível com a atividade industrial.

Na perfuração foi utilizado o método de roto-percussão inversa, com um diâmetro de perfuração 19” e com amostragem regular dos fragmentos de perfuração. A furação atravessou desde a superfície até cerca dos 95 m, maioritariamente areias finas, tendo sido possível identificar dois níveis argilosos entre os 20 e os 30 metros de profundidade e um outro cerca dos 85 metros de profundidade. Para profundidades superiores aos 95 m, encontraram-se areias grossas; para além dos cerca de 110 m encontrou-se material margoso com aproximadamente 10 m de espessura; abaixo daquela profundidade ocorreram calcários margosos e/ou carsificados. O furo foi selado à cota superior à dos materiais margosos. A realização de diagrfias permitiu a identificação dos níveis mais produtivos.

Nos primeiros 25 m do furo foi aplicado revestimento metálico para evitar contaminações superficiais.

Da superfície até aos 60 m de profundidade foi colocado apenas tubo liso, prevenindo possíveis contaminações superficiais e também para evitar o acesso de sedimentos finos à bomba. As secções de tubo ralo estão localizadas entre os 60 e os 100 m de profundidade. O diâmetro do tubo definitivo foi de 250 mm, o que permite colocar bombas de 8” que satisfazem o caudal pretendido.

O ensaio de bombagem a um caudal constante de cerca de 20 l/s produziu um rebaixamento estabilizado aos 28 m de profundidade. A água apresenta um pH= 6.8 a 7,0 e uma temperatura de 16°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa, B. P., et al. (1988). Notícia Explicativa da Folha 19-A (Cantanhede). Escala 1:50 000. Serviços Geológicos de Portugal. Carta Geológica de Portugal. Lisboa.

REFERÊNCIAS INTERNET

APA (2011). Plano de Gestão da Bacia do Mondego. <<http://www.apambiente.pt/?ref=x116>> Acesso em 5 fevereiro 2019.

SNIRH (2016). Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Disponível em: <http://snirh.pt/index.php?idMain=> Acesso em 5 fevereiro 2019.

CHARACTERIZATION OF SHALLOW AQUIFER MATERIALS IN W PORTUGAL

Maria Catarina PAZ¹, Francisco J. ALCALÁ^{2,3}, Ana MEDEIROS⁴, Pedro MARTÍNEZ-PAGÁN⁵, Jaruselsky PÉREZ-CUEVAS⁶, Luís RIBEIRO⁴

1. IDL-University of Lisbon, 1749-016 Lisbon, Portugal; mcpaz@fc.ul.pt

2. Instituto Geológico y Minero de España, 28003 Madrid, Spain; fj.alcala@igme.es

3. Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chile, 7500138 Santiago, Chile

4. CERIS-University of Lisbon, 1049-001 Lisbon, Portugal; anamedeiros@tecnico.ul.pt, luis.ribeiro@tecnico.ul.pt

5. Universidad Politécnica de Cartagena, 30107 Murcia, Spain; p.martinez@upct.es

6. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, 2748 Santo Domingo, Dominican Republic; jaruselskyperez@gmail.com

ABSTRACT

In W Portugal groundwater quality and availability are not commonly controlled factors. In this study, located in W Portugal, we performed a preliminary characterization of the shallowest carbonated aquifer materials, that we called aquifer B1, and that are part of a small aquifer system, comprising possibly perched aquifer levels and possibly connected by faults to deeper regional levels. For this we cooperatively used two geophysical techniques, ground penetrating radar (GPR), and multiple analysis of surface waves (MASW), which depend on different physical properties of subsurface. The applied methodology permitted to characterize the aquifer B1 and to identify faults that may affect different levels of the aquifer system, contributing to the vulnerability of the system relatively to changes in groundwater quality generated at the soil surface.

Key-words: ground penetrating radar; multiple analysis of surface waves; geophysical cooperative interpretation; aquifer vulnerability

1. THE AQUIFER B1

In this study we performed a preliminary characterization of the shallowest carbonated aquifer materials, hereafter roughly called aquifer B1, that are part of a small aquifer system, comprising possibly perched aquifer levels and possibly connected by faults to deeper regional levels.

Aquifer B1 (Fig. 1) is located in a region strongly affected by topographic relief, where mounts intercalate with stream valleys. Here, shallow small aquifers exist in formations belonging to the late Jurassic sedimentary cycle from the Lusitanian basin outcrops (Uphoff, 2005). Particularly, (1) carbonated materials on the top of mounts, and (2) weathered sandstones in stream valleys, both over a moderate-permeability siliciclastic (sandstone) formation (Fig. 1d).

In this region agriculture is the main economical activity, being a fundamental part of the local development policies. However, intensive agricultural activity can affect both groundwater availability and quality. This way, it is very important to include water management policies that will permit the long-term availability of quality groundwater. For this, the first step to take is to know and to characterize the shallow and deeper aquifers in the region, and the natural features that contribute to the vulnerability of these aquifers.

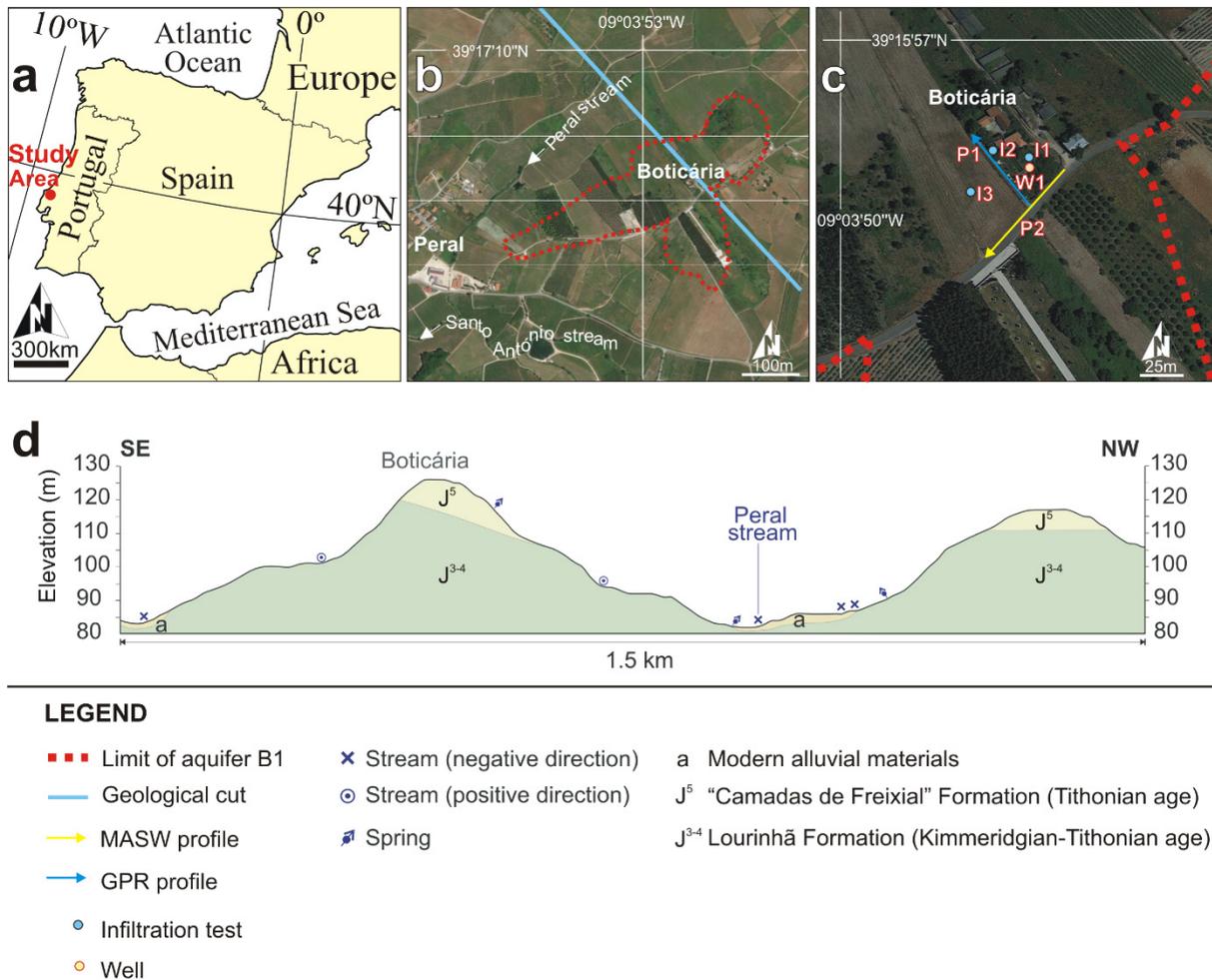


Fig. 1. a-c) Location of the study area; d) geological profile.

2. METHODOLOGY

At a shallow-depth scale, electrical and electromagnetic geophysical techniques are the most commonly used in hydrogeological research (Binley et al., 2015). These techniques are normally connected to electrical conductivity (σ), which is function of bulk density, water content distribution and quantity, dissolved ions, and clay content (Beres & Haeni, 1991). However, there are two important facts that must be considered when using these techniques: (1) σ -measurements resulting from highly conductive structures and highly conductive pore-filling fluids are similar, which generates ambiguity; and (2) σ -measurements in saturated media, such as aquifers, vary in time due to the transitory dynamics of groundwater. This way, it is advisable to complementarily or cooperatively use techniques that depend on other physical properties of subsurface.

Here, we characterize the geometry of aquifer B1 using a σ -dependent technique—GPR, and a non σ -dependent technique—MASW (dependent on the shear modulus of media).

3. DATA

Data acquisition was developed in 2014 and consisted of (1) several GPR profiles that covered the study area, (2) one MASW profile (Fig. 1c); and (3) three infiltration tests (Fig. 1c). For this study we selected one GPR profile (Fig. 1c).

GPR data were acquired on 7 May 2014, using a GSSI equipment—SIR-3000 system®, with a 270-MHz shielded antenna mounted on a cart with an encoder, using the common-offset configuration. Data was processed using the

Reflexw software ® by Sandmeier. Relative dielectric permittivity was 6 according to local near-surface characteristics and was later adjusted during processing. Processing flow consisted of (1) time-zero correction, (2) velocity refinement to 0.06 m/ns through comparison with well-known site features such as water table, (3) background removal, (4) 1D filtering—bandpass butterworth filter keeping the 70–400 MHz range.

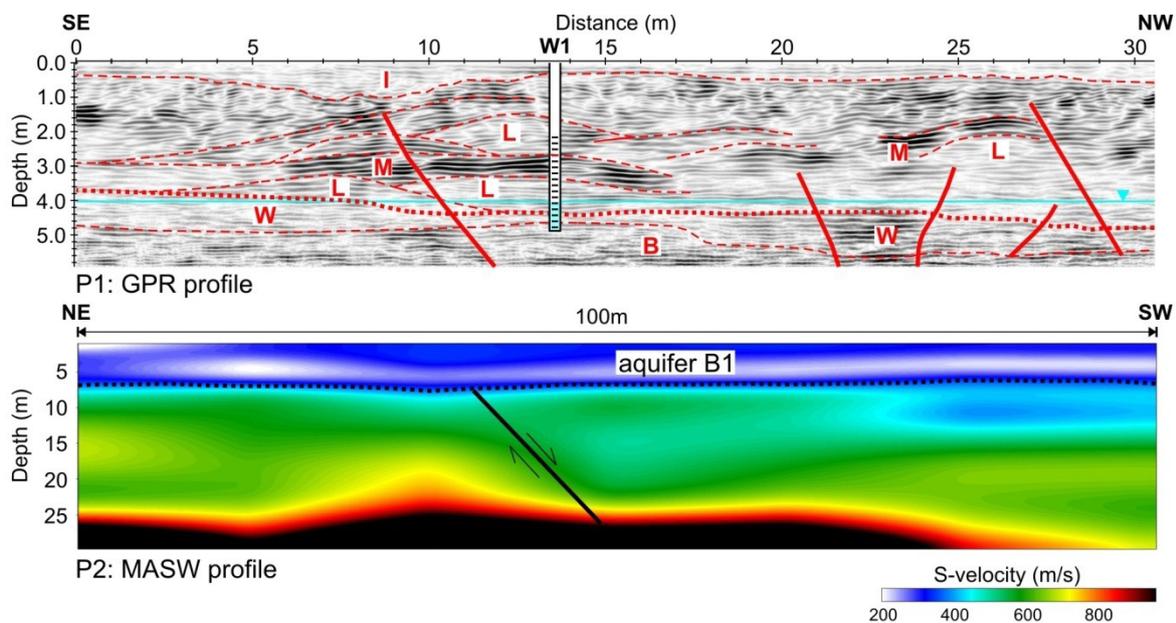
MASW data were acquired on 23 June 2014, using a 24-channel Summit Compact Unit by DMT, Germany, with a recording array of 24 vertical component geophones, each spaced 2 m. The separation between the source impact point and first geophone was 4 m (to minimize near-source effects). Rayleigh waves were generated by a 5 kg hammer. Data analysis was carried out with SurfSeis3 software ® by Kansas University by Kansas Geological Survey (KGS), USA. Data processing consisted of geometry edition, data filtering, muting (if needed), generation of overtones (frequency-time energy diagrams), and finally fundamental and higher mode (when present) identification. Once dispersion curves were determined, they were subjected to a mathematical inversion process to obtain a 2D S-velocity profile.

Three infiltration tests were performed in different zones (Fig. 1c), using a double-ring infiltrometer, installed in the soil and levelled. Time was recorded each time the water level dropped down 20 mm, which permitted to further calculate the infiltration rates considered representative of each zone.

4. RESULTS

Figure 2 shows the interpreted profiles P1 – GPR, and P2 – MASW. Profile P1 shows in detail the carbonated formations that support aquifer B1, and that develop here up to a depth of approximately 5 m. The sandstone formation can also be seen in detail. Profile P2 shows the bottom of aquifer B1 at a depth of approximately 6 m, and the sandstone developing until a depth of approximately 25 m, being followed by a harder material.

Both profiles reveal shallow (P1) and deeper (P2) faults that connect the different formations. These can act as preferential groundwater flow paths.



LEGEND

- Bottom of aquifer B1 **B** Sandstone bedrock **L** Carbonate patches **W** Weathered bedrock
- Water table **I** Soil **M** Clay-rich levels **W1** Monitoring well

Fig. 2. Geophysical profiles P1 – GPR, and P2 – MASW.

Figure 3 shows the infiltration rates obtained with the infiltration tests at I1 (Fig. 3a), and at I2 (Fig. 3b). Infiltration rates were extremely high at I1 and extremely low at I2. In fact, infiltration rates at I1 are approximately 10 times higher than those measured at I2. At I3, the infiltration test followed a similar pattern as at I2, so, not to waste more time, it was stopped and considered to have infiltration rates like those at I2. These results suggest that at I1 there is a preferential groundwater flow path, which could be related to a shallow fault, and that is in line with the geophysical results.

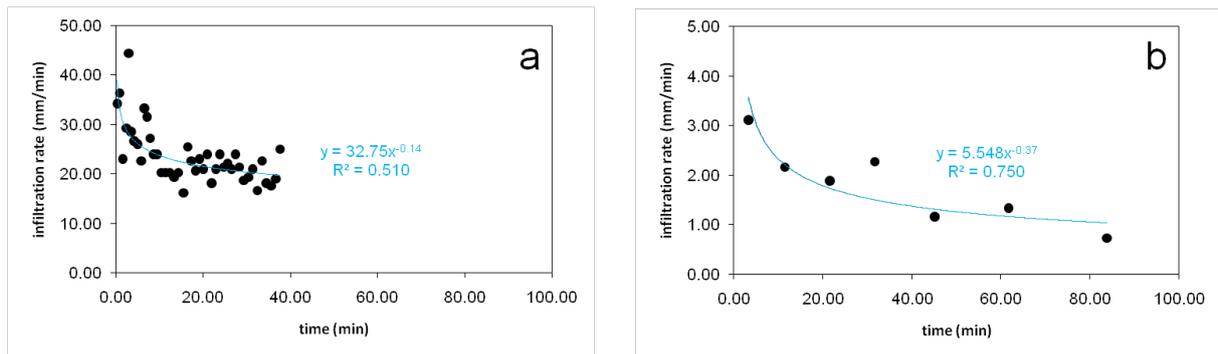


Fig. 3. Infiltration rates at (a) I1, and (b) I2.

5. CONCLUSIONS

We conclude that aquifer B1 and the sandstone formation that lies below are affected by faults that connect the surface to the subsurface in its several levels. These faults act, therefore, as preferential groundwater flow paths.. This way, activities in the soil surface that conduct to alterations in the quality of groundwater can have impact at different levels of this aquifer system, even potentially at the deeper regional level.

We intend to continue to study this small but important system and to investigate its deeper levels, not only to understand water quality problems, but also to infer the quantity of available groundwater.

ACKNOWLEDGEMENTS

Publication supported by FCT- project UID/GEO/50019/2019 - Instituto Dom Luiz.

REFERENCES

- Uphoff, TL (2005) Subsalt (pre-Jurassic) exploration play in the northern Lusitanian basin of Portugal. AAPG Bulletin, 89, 699–714.
- Beres, M, Haeni, FP (1991) Application of ground-penetrating radar methods in hydrogeologic studies. Ground Water, 29, 375–386.
- Binley, A, Hubbard, SS, Huisman, JA, Revil, A, Robinson, DA, Singha, K, Slater, LD (2015) The emergence of hydrogeophysics for improved understanding of subsurface processes over multiple scales. Water Resources Research, 51, 3837–3866.

SUSTENTABILIDADE DO AQUÍFERO TEJO-SADO (EXPLORAÇÃO EFICIENTE NA MARGEM SUL DO TEJO)

Paulo GONÇALVES¹

1. SMAS Almada, Praceta Ricardo Jorge, 2, Pragal, pgoncalves@smasalmada.pt

RESUMO

Durante vários séculos, foram as águas das nascentes naturais, dos poços, das minas, das cisternas e das fontes públicas e privadas que garantiram o abastecimento de água aos habitantes da margem sul do Tejo. Era a partir destas fontes públicas que os Aguadeiros transportavam barris com água potável que vendiam às famílias com maiores recursos económicos e onde a população fazia fila para, gratuitamente, encher as vasilhas de água para o uso doméstico. Este modelo de abastecimento de água perdurou até meados da primeira metade do século XX. Com o crescimento demográfico dos Municípios da margem sul do Tejo a assumir proporções significativas nos anos 40 do século passado muitos Concelhos iniciaram a construção de sistemas de abastecimento de água canalizada através de captações de água subterrânea. Desde então, com o aumento da população, o aumento das infraestruturas de abastecimento (Furos de Captação, Redes de Água, Reservatórios) e o conseqüente aumento do consumo de água, aumentou significativamente a “pressão” sobre Aquífero Tejo-Sado (em especial nesta zona). A exploração acentuada deste recurso poderá a médio prazo, conjuntamente com outros fatores nomeadamente as alterações climáticas (menor recarga), contaminações diversas (menor pressão no aquífero poderá originar a entrada de contaminantes) e aumento dos consumos de água (por exemplo, com a construção do novo Aeroporto), provocar danos irreversíveis no Aquífero. São necessárias medidas extraordinárias para garantir a sustentabilidade da exploração de água no Aquífero pelos Municípios da Península de Setúbal (redução da perdas de água, sensibilização ambiental, diversificação das origens, deteção e selagem das captações ilegais, etc...).

Palavras-Chave: Sustentabilidade; Eficiência; Perdas; Alterações Climáticas; Recarga

1. INTRODUÇÃO

A Península de Setúbal, com uma população de, aproximadamente, 720000 habitantes pertence à Área Metropolitana de Lisboa e é constituída por nove Municípios (Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal e Sesimbra) e tem uma área de 1421 km².

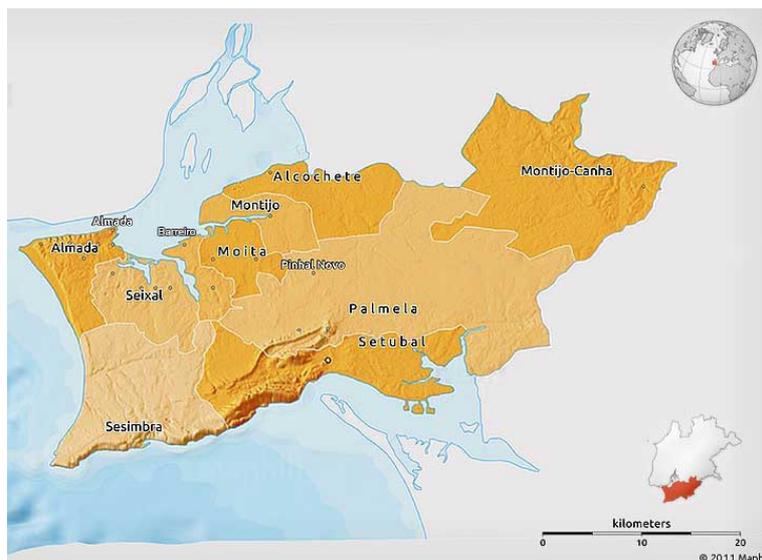


Fig. 1. Municípios da Península de Setúbal

O abastecimento de água a toda a população residente nestes Municípios tem origem no Aquífero Tejo-Sado, o maior sistema aquífero nacional, tendo este recurso constituído, nas últimas décadas, um dos principais fatores de desenvolvimento da Península.

Para garantir as necessidades de água potável foram construídos, desde meados do século passado, centenas de Furos de Captação de água, públicos e privados, provocando um “rebaixamento” significativo do nível da água do Aquífero. Existem, inclusive, polos de captação que na década de 50 (início da exploração “intensiva” da Bacia) possuíam artesianismo positivo e onde, atualmente, o nível hidrostático está a mais de 30 metros.

Com este volume de água captada e os seus efeitos na origem, é essencial uma gestão sustentável do Aquífero de modo a garantir a disponibilidade do recurso a médio/longo prazo.

2. ENQUADRAMENTO

O sistema Aquífero da Bacia Tejo-Sado, considerado o maior reservatório de água doce a nível nacional, é constituído por três sistemas: Bacia de Tejo-Sado Margem Norte, Bacia do Tejo-Sado Margem Sul e Aluviões do Tejo (Almeida et al, 2000).

Este Aquífero garante o abastecimento de água potável a milhares de pessoas através de centenas de Furos de Captação existentes em toda a sua extensão mas com especial relevância na margem sul do Tejo. Com esta importância a nível regional e nacional, é essencial garantir a sustentabilidade deste escasso recurso.

Com o aumento significativo da população dos Municípios da Península de Setúbal que utilizam, exclusivamente, esta origem de água torna-se crítica uma gestão sustentável e eficiente deste Aquífero minimizando os desperdícios do recurso e garantindo a sua utilização de forma racional.

Atualmente, com a pressão exercida sobre o Aquífero, uma gestão individual de cada uma das Entidades Gestoras poderá não garantir, a médio/longo prazo, a sustentabilidade do recurso.

2.1 Utilização Racional da Água

Com o aumento dos valores de água extraída ao longo das últimas décadas e a consequente redução da sua disponibilidade, é essencial garantir uma utilização criteriosa de toda a água captada. Entre os consumos menos nobres em que atualmente é utilizada água potável retirada ao Aquífero, com custos energéticos significativos, está a rega de jardins, lavagem de ruas, lavagem de contentores de Resíduos Sólidos Urbanos, etc...

Devem as Entidades Gestoras (EG) promover a redução destas utilizações e/ou procurar outras origens de água de menor qualidade.

Para promover a utilização racional de água por parte da população, as EG devem realizar campanhas de sensibilização para o uso eficiente da água.

2.2 Perdas de Água nas Redes Adutoras e de Distribuição de Água

Actualmente, são captados nos 9 Municípios da Península de Setúbal, aproximadamente, 66,6 milhões de m³ (RASARP 2017). Muita desta água não chega às torneiras dos consumidores e é contabilizada como perdas reais nas redes de abastecimento de água das EG. Em 2016, estas perdas foram de 12,3 milhões de m³ (suficientes para abastecer, durante um ano, toda a população do Município de Setúbal ou do Município do Seixal, dois dos maiores Concelhos da Península em termos populacionais).

Com perdas reais de, aproximadamente, 18,5% da água entrada nos sistemas, é essencial alterar a política de remodelação das redes de abastecimento de água nomeadamente com criação de programas operacionais coparticipados, alterações nos modelos tarifários, financiamento externo, etc...

2.3 Alterações Climáticas

As alterações climáticas (variações do clima a nível mundial), são um dos factores que mais podem influenciar a sustentabilidade do Aquífero pois podem alterar significativamente o valor da recarga de água na bacia e o consumo de água por parte da população.

Com o evidente aquecimento global, diversos fenómenos atmosféricos podem ocorrer com influência, directa ou indirecta, na quantidade e qualidade da água no Aquífero.

2.3.1 Redução da Pluviosidade/Seca extrema

Com as alterações no clima, a ocorrência de períodos de seca severa ou seca extrema podem ser cada vez mais frequentes. Portugal passou recentemente pelo pior seca dos últimos 100 anos e esta situação poderá passar a ser recorrente.

Com menores valores de precipitação, o volume da recarga do Aquífero passará a ser significativamente menor.

2.3.2 Subida do nível da água do mar

Este factor, apesar de ser o que tem, actualmente, menor importancia poderá ter influência a longo prazo na qualidade da água no Aquífero pois vai aumentar a pressão do mar no *interface* mar/aquífero. Com este aumento, aumenta o perigo da intrusão salina na água subterrânea.

2.3.3 Aumento da Temperatura Média

Com o aumento da temperatura média, é expectavel um aumento proporcional do consumo de água pela população. Esta situação é especialmente critica para o Aquífero devido a período longos (semanas) com temperaturas elevadas. Esta situação obriga as EG a uma utilização intensiva e simultânea dos Furos de Captação não permitindo a sua normal recuperação.

2.4 Sobreexploração pontual do Aquífero

Analisando a localização dos Furos de Captação das diversas Entidades Gestoras, é possível verificar que existem diversas zonas em que podem ocorrer interações entre Captações de EG distintas. Esta situação, devido à proximidade entre Captações, poderá levar à sobreexploração localizada do Aquífero (as 2 ou mais EG não coordenam a utilização simultânea do polo de captação que partilham podendo originar um rebaixamento acentuado do nível da água e consequentemente a entrada de água de outras origens). Esta situação é especialmente preocupante quando ocorre perto dos limites (bordadura) do Aquífero.

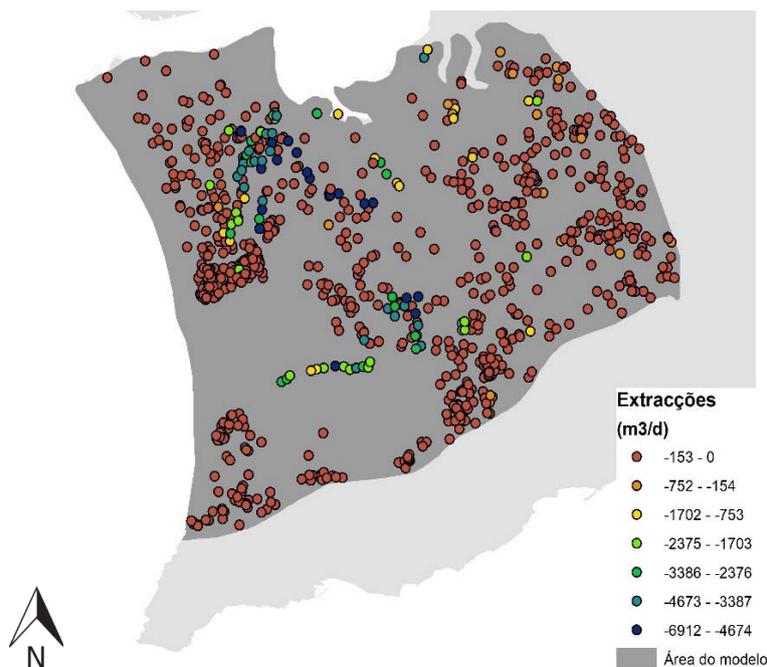


Fig. 2. Localização dos furos de captação na Península de Setúbal e caudais de extração (exploração)

3. CONCLUSÕES

Com o atual modelo de gestão do Aquífero Tejo-Sado e sem alterações profundas à utilização da água extraída, poderá existir, a médio prazo, uma redução significativa da quantidade e qualidade da água do Aquífero.

Só com a conjugação de várias medidas mitigadoras dos diversos perigos que ameaçam este recurso, poderá ser garantido o abastecimento de água aos habitantes dos Concelhos da Península de Setúbal.

Sem uma gestão integrada deste recurso natural, é improvável que as medidas tomadas individualmente por cada uma das Entidades Gestoras tenham resultados que afetem positivamente a sustentabilidade global do Aquífero.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-ALMEIDA, C.; MENDONÇA, J.J.L.; JESUS, M.R.; GOMES, A.J. (2000) SISTEMAS AQUÍFEROS DE PORTUGAL CONTINENTAL

REFERÊNCIAS INTERNET

- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>

AS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO VOUGA, MONDEGO E LIS (RH4)

Paula GARCIA¹, Marco ALMEIDA¹, Leonor SILVA¹

1. Agência Portuguesa do Ambiente, IP/ARH do Centro, Edifício Fábrica dos Mirandas - Av. Cidade Aeminuun - Coimbra, paula.garcia@apambiente.pt, marco.almeida@apambiente.pt, leonor.silva@apambiente.pt

RESUMO

A gestão dos recursos hídricos é de vital importância para assegurar o desenvolvimento do território nas diversas vertentes, a social, a económica e a ambiental.

A Diretiva-Quadro da Água (DQA), Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000, transposta para o direito nacional pela Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (Lei da Água), complementada pelo Decreto-Lei n.º 77/2006, de 30 de Março, estabeleceu um quadro de ação de âmbito comunitário para o domínio da política da água, a qual constitui a ferramenta principal para a gestão integrada dos recursos hídricos, satisfazendo as necessidades atuais sem comprometer a satisfação das necessidades das gerações futuras e evitando o ‘conflito’ desenvolvimento/proteção ambiental com vista à gestão sustentável dos recursos hídricos, protegendo assim as águas superficiais interiores, de transição e costeiras e as águas subterrâneas.

A DQA, o Decreto-Lei 130/2012, 22 de junho, o Decreto-Lei n.º 208/2008, 28 de outubro, entre outros, visam a salvaguarda e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, tendo por base a sua preservação, conservação e gestão eficiente.

À Agência Portuguesa do Ambiente, IP (APA, IP), enquanto Autoridade Nacional da Água, compete propor, desenvolver e acompanhar a execução da política dos recursos hídricos, com vista à sua proteção e valorização. A Administração da Região Hidrográfica do Centro (ARH Centro), enquanto órgão descentralizado da APA, IP tem competência na gestão dos recursos hídricos da região hidrográfica 4 (RH4), nomeadamente através: da análise das características de cada região hidrográfica e das incidências das atividades humanas sobre o estado das águas; do planeamento e ordenamento dos recursos hídricos e dos usos das águas; da emissão dos títulos de utilização dos recursos hídricos não marinhos e fiscalização do cumprimento da sua aplicação; da gestão das redes de monitorização, bem como da garantia da consecução dos objetivos da Lei da Água.

A RH4 compreende uma área total de 12 144 km² e integra as bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis e as bacias hidrográficas das ribeiras de costa, incluindo as respetivas águas costeiras, e as massas de água subterrânea.

Este poster pretende apresentar uma caracterização das 22 massas de água subterrânea afetas à RH4 e os resultados obtidos no desenvolvimento dos trabalhos realizados pela APA, IP/ARH do Centro, no âmbito dos Planos de Gestão de Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis (PGRH da RH4), nomeadamente no que se refere às principais pressões sobre estas massas de água, à monitorização e ao seu estado global.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos; Massas de Água Subterrânea; Aquíferos; Região Hidrográfica 4

AVALIAÇÃO DO GRAU E DA TIPOLOGIA DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO SUPERFICIAL NA REGIÃO DE ESTARREJA

Ana Carolina Pires MARQUES¹, Maria do Rosário de CARVALHO², Eduardo Anselmo FERREIRA DA SILVA¹

1. Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193, Aveiro, Portugal; acarolinapm@ua.pt

2. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande 016, 1749-016 Lisboa, Portugal

RESUMO

A agricultura e a indústria constituem das atividades mais relevantes no município de Estarreja, desde a década de 30, parecendo haver uma simbiose perfeita entre ambas. Com a instalação do Complexo Químico de Estarreja (CQE) no século XX, mais concretamente nos anos 50, a indústria química em Estarreja tem a sua génese associada à agricultura, cujo principal objetivo era assegurar a produção de amoníaco para o abastecimento de adubos nitro-amoniacaais à agricultura. Deste modo, o setor agrícola e industrial representam duas atividades económicas extremamente relevantes no município de Estarreja. Contudo, é importante mencionar que as presentes indústrias que se têm vindo a desenvolver, além das inegáveis mais-valias que têm trazido à região, têm desencadeado um aumento da vulnerabilidade do ambiente à contaminação proveniente das suas matérias-primas e produtos finais, nomeadamente a contaminação das águas superficiais e águas subterrâneas. No presente trabalho foram analisadas águas subterrâneas representativas do aquífero superficial de Estarreja tendo-se constatado a existência de concentrações elevadas em Cl, NO₃, SO₄, Na, que definem claramente a influência da atividade agrícola e industrial.

Palavras-Chave: Estarreja; Águas subterrâneas; Contaminação agrícola; Contaminação industrial; Salinização

1. INTRODUÇÃO

A água constitui um excelente solvente, podendo conter inúmeras substâncias dissolvidas. Ao longo do seu percurso, a água vai interagindo com o solo e com as formações geológicas, dissolvendo e incorporando substâncias, sendo esta a razão pela qual a água subterrânea é mais mineralizada que a água superficial. Ainda que o solo e a zona saturada apresentem excelentes mecanismos de filtragem, e retenham inúmeras partículas e bactérias patogénicas, existem substâncias e gases dissolvidos que dificilmente se libertam da água subterrânea podendo ser responsáveis pela sua poluição. Uma água passa a estar na categoria de água poluída quando existe alteração na sua composição, tornando-a imprópria para um determinado fim. A degradação da qualidade da água subterrânea pode ser desencadeada direta ou indiretamente por processos naturais ou por atividades antrópicas, sendo bastante frequente a ação combinada dos dois fatores.

A agricultura constitui um foco de poluição difuso, sendo responsável pela poluição a partir da superfície de extensas áreas. Os contaminantes potencialmente mais significativos são os fertilizantes, os pesticidas e de modo mais indireto, as práticas de regadio. No que concerne aos fertilizantes inorgânicos, tais como o amoníaco, o sulfato de amónio, o nitrato de amónio e o carbonato de amónio, assim como os fertilizantes orgânicos, com particular destaque para a ureia, estes são os grandes responsáveis pelo incremento da concentração de NO₃, NO₂ e NH₄ nas águas subterrâneas. Para além do uso de fertilizantes nitrogenados, o incremento da concentração de SO₄, Cl e P nas águas subterrâneas encontra-se relacionado com a aplicação de fertilizantes ricos em sulfato de amónio, cloreto de potássio, carbonato de potássio e compostos fosforados. Consta-se que a utilização inapropriada de fertilizantes nitrogenados e fosforados em zonas de regadio com solos permeáveis e aquíferos livres pode levar a aumentos consideráveis de nitratos no próprio aquífero, o lançamento indiscriminado de resíduos animais sobre o solo em zonas vulneráveis, assim como a utilização exagerada de pesticidas em solos muito permeáveis com escassa capacidade de adsorção constituem os principais problemas da poluição da atividade agrícola.

No que se refere à indústria, esta apresenta um carácter de poluição tipicamente pontual, estando relacionada com a deposição no passado de resíduos de produção através das águas superficiais e águas subterrâneas, e do seu armazenamento em solos não protegidos.

Tendo em conta que na zona de Estarreja, os dois grandes focos de contaminação são as atividades agrícola e industrial, o objetivo deste estudo foi proceder à avaliação do grau de contaminação das águas do aquífero superficial de Estarreja, e identificando as suas diferentes tipologias de contaminação.

2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A área de estudo é caracterizada pelo ocorrência de depósitos sedimentares detríticos de idade Holocénica e Plio-Pleistocénica, segundo a Notícia Explicativa da Carta Geológica, Folha 13C (Ovar), na escala de 1:50000 (Teixeira, 1962). Os depósitos assentam de forma discordante sobre um substrato composto por formações argilo-gresosas do Cretácico Inferior ou por xistos do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) que pertencem ao Pré-Câmbrico. A zona em estudo pertence à Bacia Hidrográfica do Vouga, perfazendo uma área total aproximada de 931 km² (Almeida et al., 2000) e administrada pela Região Hidrográfica do Vouga/Mondego/Lis (RH4) (<https://snirh.apambiente.pt/>). Esta área compreende dois sistemas aquíferos (Marques da Silva, 1990): (a) o Sistema Multiaquífero do Cretácico de Aveiro (SMCA) e (b) o Sistema Aquífero do Quaternário de Aveiro (SAQA) constituído essencialmente por três unidades aquíferas principais, tendo em conta as suas características hidrogeológicas e hidráulicas diferenciadas (Ordens, 2007). O aquífero superior, freático encontra-se instalado em depósitos modernos (Holocénico) que compreendem as formações dunares ou areias de duna e as aluviões (Almeida et al., 2000). O aquífero correspondente à segunda unidade aquífera, semi-confinado está instalado na base do Quaternário (Ordens, 2007). É de realçar que a NE de Estarreja, os níveis confinantes desaparecem e consequentemente esta unidade aquífera passa a comportar-se como um aquífero livre, recebendo recarga direta da infiltração e dos excedentes de rega (Condeso de Melo, 2002; Condeso de Melo, Cabano & Marques da Silva, 2002; Castilho, 2008). Almeida et al. (2000) refere que um dos principais problemas para a sua utilização é a excessiva concentração em ferro, o que obriga a efetuar tratamento adequado. Também são conhecidos casos de aumento excessivo da concentração de cloretos, atribuídos à drenância da camada confinante, constituída por lodos, contendo água salgada, em resultado de uma exploração excessiva (Almeida et al., 2000). O aquífero correspondente à terceira unidade aquífera, é constituído pelas camadas de Grés e Argilas do Cretácico (Camada 1) e pelos Xistos do Complexo Xisto-Grauváquico do Pré-Câmbrico (anteriores a 540 M.a), que constituem o substrato do Sistema Aquífero Quaternário de Aveiro e que fazem parte do Sistema Multiaquífero Cretácico de Aveiro (SMCA) (Ordens, 2007).

3. AMOSTRAGEM E MÉTODOS ANALÍTICOS

Para a concretização deste estudo, efetuou-se uma campanha de amostragem, tendo-se recolhido 37 amostras de água em poços e furos de pequeno diâmetro no município de Estarreja. No campo procedeu-se à determinação dos parâmetros físico-químicos (pH, T, Condutividade Elétrica, Potencial Redox, Oxigénio Dissolvido) utilizando uma sonda multisensor HI769828 acoplada a um medidor multiparâmetro HI9828 da HANNA Instruments®, assim como à determinação do teor de bicarbonatos das amostras. Para a análise dos aniões (Cl, NO₃ e SO₄) recorreu-se à técnica de Cromatografia iónica (Cromatógrafo DIONEX 2000i), e para a análise dos catiões (Al, As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, V e Zn,) utilizou-se a técnica de Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente ou ICP-MS (Agilent Technologies 7700 Series ICP-MS). Posteriormente, à análise estatística univariada, bivariada, efetuou-se uma Análise em Componentes Principais (ACP), de modo a identificar as associações de variáveis mais importantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 apresenta os diagramas de extremos e quartis para as variáveis selecionadas para este estudo. Da sua análise, é possível constatar as variáveis Cl, NO₃, SO₄, Na, Al, Co, Cr, Fe, Li e P apresentam distribuições assimétricas positivas, mostrando claramente a presença de valores anómalos (outliers).

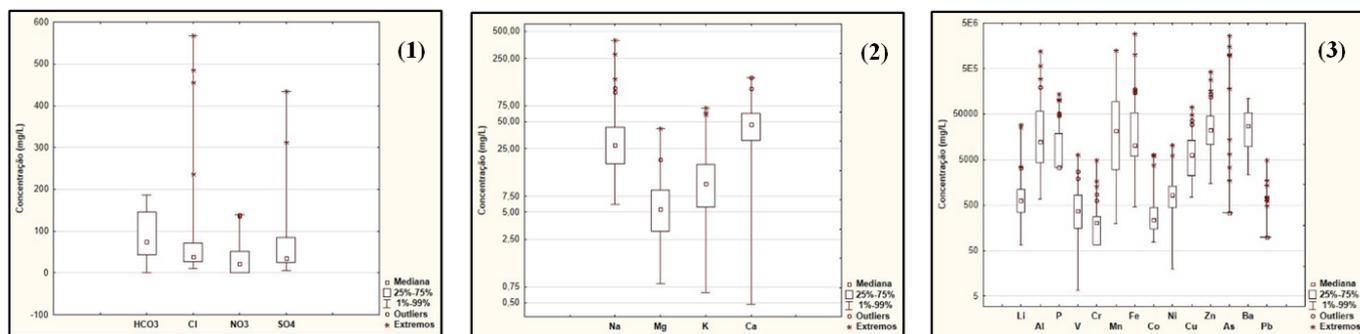


Fig. 1 – Diagramas de extremos e quartis: elementos maiores (1) e (2) e elementos vestigiais (3)

Os valores dos coeficientes de correlação evidenciam que a variável Cl apresenta correlações muito fortes a fortes com Na (0,92), SO4 (0,76), Cr (0,72), Ni (0,69), As (0,68) e V (0,63). A variável SO4 apresenta uma correlação forte com a variável Zn (0,69). A variável Na apresenta correlações fortes com As (0,73), outra com o V (0,68), e ainda com o Cr (0,67). De referir também outras correlações significativas: Cr/Ni (0,93), Cr/Fe (0,83), e Cr/Co (0,69); Li/Mg (0,81) e Li/Ca (0,68); Fe/Ni (0,80) e Fe/Co (0,62); o Co correlaciona-se fortemente com o Ni (0,74), assim como com o Zn (0,68). As variáveis Mg, V e P apresentam correlação forte: o Mg/Ca (0,76); V/As (0,75), e P/V (0,65).

Da análise dos resultados, constata-se que as maiores concentrações foram registadas para as variáveis Cl (567 mg/L), SO4 (434 mg/L), Na (398 mg/L), enquanto que o NO3 apresenta valores na ordem dos 140 mg/L em algumas amostras.

No que diz respeito à Diretiva 98/83/CE do Conselho de 3 de Novembro de 1998, alterada por Diretiva (UE) 2015/1787 da Comissão de 6 de outubro de 2015, transposta pelo Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro, os valores paramétricos estabelecidos para efeitos de verificação da conformidade da qualidade da água destinada ao consumo humano são 250 mg/L para os Cl e para os SO4, e 200 mg/L para o Na. De acordo com a Diretiva de Nitratos, Diretiva 91/676/CEE de 12 de dezembro de 1991, transposta pelo Decreto-Lei n.º 235/97 de 3 de setembro, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99 de 11 de março, as águas superficiais ou subterrâneas são consideradas poluídas por nitratos de origem agrícola, caso contenham ou apresentem risco de conter uma concentração de nitratos superior a 50 mg/L. A zona em estudo apresenta um valor máximo que ronda os 140 mg/L, verificando-se também que 50% das amostras analisadas apresentam concentrações acima do valor da mediana, excedendo os 50 mg/L. Relativamente aos elementos vestigiais, constata-se que as variáveis Al, Mn, Fe e As apresentam concentrações acima de 500 µg/L, sendo os valores estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro os seguintes: 200 µg/L para o Al, 50 µg/L para o Mn, 200 µg/L para o Fe e 10 µg/L para o As.

A figura 2 apresenta a projeção das variáveis nos 3 planos fatoriais. Os resultados obtidos permitiram identificar que o primeiro plano fatorial explica 45,37% da variância explicada. O Factor 1 explica as variáveis Cl, Na, CE, SO4, Ni, Cr, As, Co, V, Zn e Cu, enquanto o Factor 2 explica as variáveis Ca, Mg, Li, K, HCO3 em oposição ao Al. Neste plano fatorial constata-se que o eixo 2 permite subdividir a associação do eixo 1 em dois sub-grupos: (CE, SO4 e Cu) e (Na, Cl, V, As, Zn, Fe, Cr e Co). O 2º plano fatorial explica 38,46% da variância explicada. Neste plano constata-se que o eixo 3 representa a associação V, P, As e (Cu).

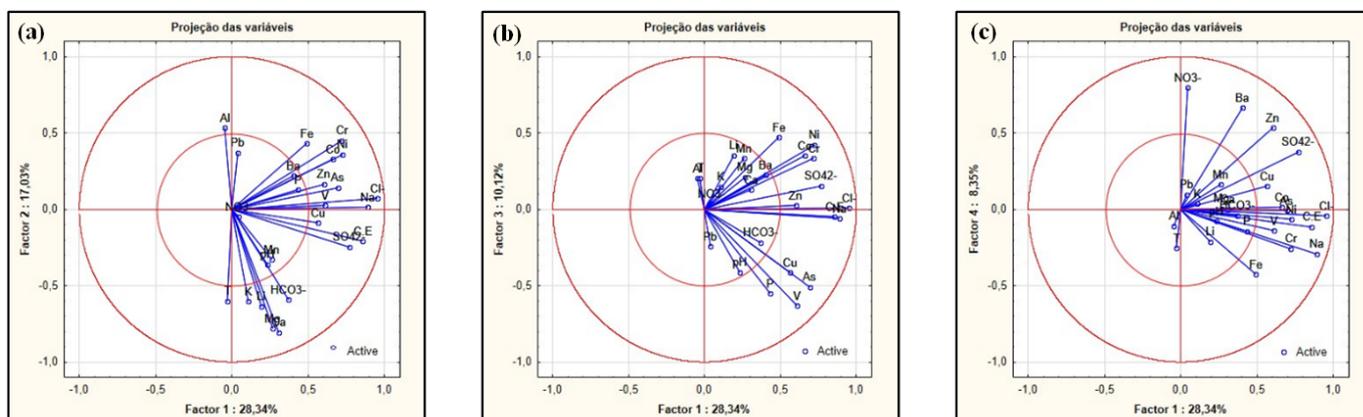


Fig. 2 – Projeção das variáveis nos 3 planos fatoriais.

5. CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir para a existência de uma componente associada à salinização das águas que se manifesta nos poços e furos localizados na proximidade dos canais da Ria de Aveiro. Existe também uma componente associada à componente industrial caracterizada por águas bastante mineralizadas e com concentrações altas em elementos vestigiais. A componente agrícola manifesta-se essencialmente pela presença de concentrações elevadas em nitratos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng^o. João Ribeiro todo o apoio concedido na realização da colheita das amostras e à Dr^a. Carla Patinha pela análise das amostras através da Cromatografia iónica e da Espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J., 2000. Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. INAG, Lisboa.
- Castilho, A.M.A., 2008. Lagoas de Quaiaios: Contribuição para o seu conhecimento geológico e hidrogeológico. Coimbra, Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Ciências da Terra, 474 p. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Geológica, na especialidade de Hidrogeologia e Recursos Hídricos.
- Condeso de Melo, M.T., 2002. Modelo matemático de fluxo e transporte de massa do sistema multiaquífero Cretácico da região de Aveiro. Dissertação de Doutoramento, Departamento Geociências, Universidade de Aveiro.
- Condeso de Melo, M.T., Cabano, G., Marques da Silva, M.A., 2002. Evolução hidrogeoquímica do sistema multiaquífero Quaternário de Aveiro. Proceedings 6º Congresso da Água, Porto, 18 a 22 de Março.
- Marques da Silva, M.A., 1990. Hidrogeología del sistema multiaquífero Cretácico del Bajo Vouga – Aveiro (Portugal). Dissertação de doutoramento. Universidade de Barcelona. Barcelona.
- Ordens, C.M., 2007. Estudo da contaminação do aquífero superior na região de Estarreja. Coimbra, Universidade de Coimbra. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Ciências da Terra, 150 p. Dissertação apresentada à Universidade de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Geociências, ramo Ambiente e Ordenamento do Território.
- Teixeira, C., 1962. Carta Geológica de Portugal 1/50000. Notícia explicativa da Folha 13-C (Ovar). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

legislação



DIRECTIVA DO CONSELHO de 12 de Dezembro de 1991 – protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola (91/676/CEE)

Diretiva 98/83/CE do CONSELHO de 3 de Novembro de 1998 relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano

DIRETIVA (UE) 2015/1787 DA COMISSÃO de 6 de outubro de 2015 que altera os anexos II e III 98/83/CE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano

Decreto-Lei n.º 235/97 de 3 de setembro. Diário da República nº 203, 3-9-1997 – I Série A. Lisboa: Ministério do Ambiente

Decreto-Lei n.º 68/99 de 11 de março. Diário da República nº 59, 11-3-1999 – I Série A. Lisboa: Ministério do Ambiente

Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro. Diário da República, 1ª série – Nº 235 – 7 de dezembro de 2017. Lisboa: Ambiente

REFERÊNCIAS INTERNET

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://snirh.apambiente.pt/>> Acesso em 10 de outubro de 2018

GESTÃO DO REGADIO PARA PROTEÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - ESTUDO DE CASO PARA MELHORAR A QUALIDADE DA ÁGUA NO VALE DO LIS

José M. GONÇALVES¹, Olga FILIPE¹, Paula AMADOR², Isabel Maria DUARTE², Susana FERREIRA², Rui EUGÉNIO³, Helena MARQUES¹, Manuel NUNES¹, Fátima OLIVEIRA², Madalena GONÇALVES⁴, Henrique DAMÁSIO³, António Dinis FERREIRA²

1. Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, 3045-316 Coimbra, jmmg@esac.pt, olga@esac.pt, susana.ferreira@esac.pt, mnunes@esac.pt

2. CERNAS—Research Centre for Natural Resources, Environment and Society, Escola Superior Agrária de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, paula_amador@esac.pt, iduarte@esac.pt, foliveira@esac.pt, hmarques@esac.pt, aferreira@esac.pt

3. Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Lis, Quinta do Picoto, 2425-492 Souto da Carpalhosa, Leiria, eugenio-ruis@sapo.pt, hdamasio71@gmail.com

4. Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, madalena.goncalves@drapc.gov.pt

RESUMO

As exigências da sociedade na preservação dos recursos hídricos têm levado a agricultura a um grande desenvolvimento tecnológico e de gestão, para limitar os impactos negativos, favorecer o desenvolvimento socio-económico e promover a conservação dos recursos naturais. A melhoria do regadio é uma determinante para a promoção de sistemas de agricultura sustentáveis, sendo constantes os desafios na poupança da água, na redução dos riscos de poluição, na redução dos custos e no aumento da produtividade. Estes desafios colocam-se num quadro de maior exigência tecnológica e competitividade empresarial, em que são cruciais os projetos de inovação para a melhoria da gestão do regadio. A presente comunicação refere-se a um estudo de caso no Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Lis, que se localiza no Centro Litoral de Portugal, nos concelhos de Leiria e Marinha Grande, com uma área de cerca de 2000 ha, onde são predominantes os aluviossolos modernos, por vezes com problemas de drenagem, com elevado potencial de produtividade agrícola e grande influência na sustentabilidade sócio-económica da região. O estudo considera ações de monitorização da qualidade físico-química e microbiológica da água de abastecimento e drenagem de origem superficial subterrânea freática na zona sub-superficial, visando a sua melhoria e a consequente minimização de riscos relativamente à conservação das massas de água subterrâneas e superficiais do Vale do Lis. Apresentam-se os locais de colheita de água e as regras de amostragem, estabelecidos para garantir uma boa representatividade espacial e temporal, com particular realce durante a campanha de rega. São apresentados resultados obtidos em 2018 e é feita a sua análise no sentido de avaliar situações de risco de contaminação e para obter informação de apoio ao diagnóstico e resolução dos problemas, ou seja, de apoio à gestão.

Palavras-Chave: aproveitamento hidroagrícola do Vale do Lis; impacto do regadio nos recursos hídricos; qualidade da água; monitorização da qualidade da água; drenagem agrícola

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de regadio exerce um grande impacto nos recursos hídricos, quer pela mobilização de grande quantidade de massas de água, quer na diminuição da sua qualidade. No regadio, a natureza e dimensão dos fluxos hídricos são distintos em função das características morfológicas e hidrológicas da região e das tecnologias aplicadas. Desta forma, os efeitos do regadio na qualidade dos recursos hídricos dependem do modelo tecnológico de agricultura e, portanto, da intensificação da produtividade do solo, em que os problemas de poluição se relacionam essencialmente com o uso ineficiente de factores agroquímicos. Estes efeitos negativos podem ser sentidos nas massas de água superficiais ou subterrâneas, conforme a sensibilidade ambiental da área de influência. A melhoria do regadio é sempre um grande desafio, porquanto às exigências de poupança da água, redução da procura e da poluição, pela melhoria tecnológica e de gestão, sobrepõe-se a redução de custos e o aumento de produtividade, por imperativos de competitividade empresarial (Backeberg 2014). Nesta lógica de desenvolvimento, ganham especial pertinência os projetos de inovação na gestão do regadio, como os Grupos Operacionais no quadro do PDR2020 (MAM-GPP

2014), que potenciam ações de monitorização ambiental da água, com vista à tomada de decisão para a melhoria dos resultados ambientais e económicos, atendendo às especificidades de cada regadio. Este trabalho apresenta os resultados de 2018 de um estudo de caso no Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Lis (AHVL), que se integra na atividade do Grupo Operacional para a gestão da água no Vale do Lis (goLis), que visa a melhoria da planificação, gestão e uso da água e a modernização sustentável do AHVL. No quadro destes objetivos de sustentabilidade, pretende-se que a gestão agrícola do aproveitamento minimize os riscos relativos à conservação das massas de água do Vale do Lis, superficiais e subterrâneas em estrita interdependência, cujo âmbito de gestão é alargado a diversas entidades, designadamente agrícolas, urbanas e industriais.

2. ENQUADRAMENTO

2.1 Local de estudo

A bacia hidrográfica do rio Lis localiza-se no Centro Litoral de Portugal, tem uma área de 850 km², com uma precipitação anual média de 989 mm e um escoamento superficial anual médio de 378 mm (Campar et al. 1989). Esta bacia está inserida integralmente na unidade hidrogeológica da Orla Mesocenozóica Ocidental e nela se observam materiais com idades geológicas compreendidas entre o Jurássico inferior e o moderno Quaternário, com tendência das formações serem mais recentes no sentido de montante para jusante (Almeida et al. 1999). Em termos litológicos, observam-se vários tipos de calcários (Malm e Dogger) associados ao período Jurássico, formações de grés e arenitos provenientes do Cretácio, areias e arenitos mais recentes associadas ao Terciário (Miocénico e Pliocénico), terraços fluviais e formações aluvionares do período Quaternário (Plistocénico e Holocénico), tal como ilustra a Figura 1 (esquerda). Em termos hidrogeológicos, existem dois tipos de aquíferos na bacia do Lis: porosos e cársicos. Os primeiros abrangem uma área maior, incluindo o Vale do Lis, sendo neles observadas formações compostas por areias, arenitos e conglomerados dispostos em camadas, alternando com aquitardos e aquíclusos.

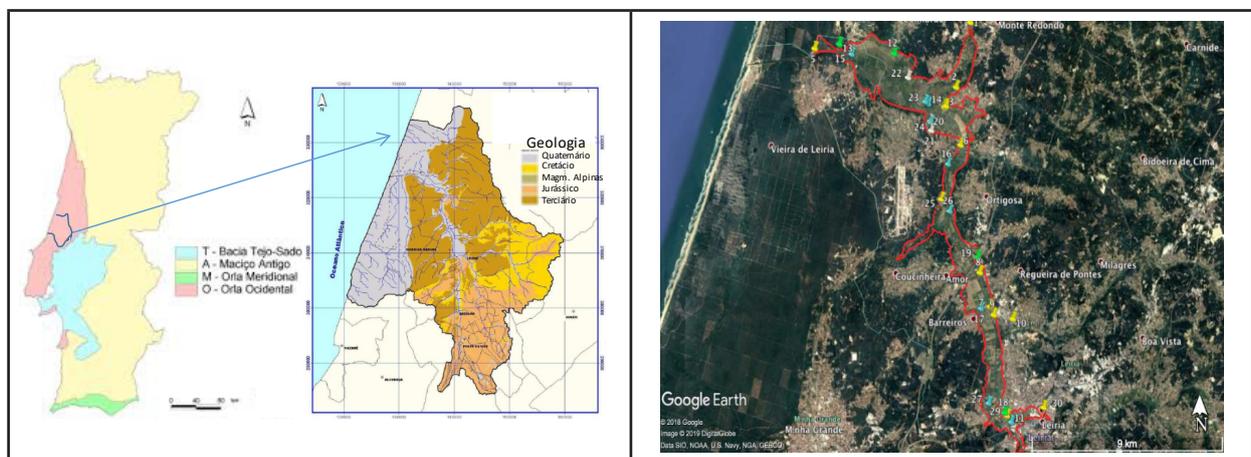


Figura 1. Esquerda: Localização, caracterização hidrogeológica e carta geológica da bacia hidrográfica do Rio Lis (fonte: PGRH-RH4; SNIRH, <http://apambiente.pt/>). Direita: Localização dos pontos amostrais (amarelo, função de abastecimento; azul, função de drenagem; verde, função mista; branco, piezómetros)

2.2 Metodologia

Numa primeira fase, foram definidos os locais de observação e a frequência de colheita de amostras. Como regra geral de amostragem, optou-se por: i) incluir os pontos de entrada e saída do AHVL; ii) privilegiar os períodos de início da campanha de rega e de ponta de estiagem; e iii) incluir os diversos blocos hidráulicos do sistema de rega e drenagem. Os pontos de amostragem efetuada em 2018 estão descritos na Tabela 1 e Figura 1 (direita).

A avaliação da qualidade físico-química das amostras de água foi efectuada com sonda multiparamétrica portátil marca In-Situ, modelo SmarTROLL RDO Handheld, previamente calibrada, e também em laboratório, para os seguintes parâmetros: Cloretos (Cl, mg/L), Oxigénio Dissolvido Resistivo (RDO, mg/L), Saturação do Oxigénio Dissolvido (SOD, %), Temperatura (T, °C), Condutividade Elétrica (CE, µS/cm), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT, ppm). Os resultados obtidos foram comparados com os valores máximos recomendados (VMR), de acordo com as Normas de Qualidade da Água para rega (NQAR). As análises microbiológicas das amostras de água incluíram a

enumeração de coliformes totais (CT, UFC/mL) através de filtração por membrana e incubação em meio de cultura apropriado, de acordo com o Anexo III da referida Norma. Foram efetuadas medições em várias datas, indicadas na Tabela 2.

Tabela 1. Identificação e caracterização dos pontos amostrais de qualidade da água.

Pon- to	Local	Bloco	Fun- ção*	Pon- to	Local	Bloco	Fun- ção*
1	Rib. Aroeira, açude, tomada Canal 4	II	A	16	Vala Real (próximo EE AdCL)	V	D
2	Rib. Aroeira, açude, tomada Canal 5	II	A	17	Vala do Seixal, conf. col. de Amor	IV, V	D
3	Rib. Aroeira, confluência com Lis	II	A	18	Vala do Carvão (início)	III	A,D
4	Rio Lis, açude Salgadas	Is, II	A	19	Vala do Carvão - açude do Pires	III	A,D
5	Rio Lis - Ponte da Bajanca	II	A	20	Piezómetro 1 - parcela Termas	Is	P
6	Tomada do Canal 3 (Canal)	V, Is	A	21	Piezómetro 2 - pomar Vitor Du- arte	Is	P
7	Canal 2, jusante EE Necessidades	V	A	22	Piezómetro 3 - parcela arroz Nuno	II	P
8	Canal 1, açude do Plátano	IIs, III	A	23	Lis, ponte da Junceira	I, Is, II	D
9	Canal 2, tomada, rio Lis	IV	A	24	Vala das Termas M. Real	Is	D
10	Rib. Milagres (foz, ponte)	III	A	25	Canal 3, açude, colector de Amor	IV, V	A
11	Rio Lena (foz) - Ponte das Mestras	III, IV	D	26	Vala Real, ponte Estr. Ruivaqueira	V	D
12	Rio Negro (meio)	II	A,D	27	Vala do Seixal, montante	IV	D
13	Rio Negro (final) - EE Boco	I, II	A,D	28	Canal VII - a montante	Is	A
14	Vala das Termas (EE Salgadas)	Is	D	29	Canal II - a montante	IV	A
15	Vala da Pedra (final)	Is, I	D	30	Rio Lis - Açude do Arrabalde	III, IV, V, IIs	A

*Função: A=Abastecimento; D=Drenagem; S=Subterrânea (piezómetro)

2.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 2 apresenta-se um excerto dos resultados obtidos, em particular os pontos 1 e 30 de água de abastecimento para rega (ribeira da Aroeira e rio Lis), o ponto 12 com função dupla de drenagem e rega (rio Negro), o ponto 16 de drenagem agrícola (Vala Real), o ponto 24 de drenagem de água residual das Termas de Monte Real, com salinidade particularmente elevada de origem subterrânea (elevado valor de CE e cloretos), e o ponto 21 de água subterrânea (pomar no bloco Is).

Tabela 2. Resultados da análise de qualidade físico-química da água (valores de VMR da NQAR)

Ponto	Parâme- tros	pH	CE, µS/ cm	Cl, mg/L	RDO, mg/L	SOD, %	T, °C	SDT, ppm	CT, UFC/ mL
	VMR	6,5- 8,4	1000	70	-----	-----	-----	640	-----
1	23/07/18	5,28	230	8,6					
	19/09/18	4,6	356				16,0		2,7E+03
	10/10/18	7,73	229		9,79	104,81	18,1	171,35	
12	19/09/18	6,4	1140				18,5		7,2E+03
	10/10/18	7,23	987		8,01	84,82	17,5	749,95	
16	23/07/18	7,45	590	7,4					
	19/09/18	7,4	657				18,0		1,9E+03
	10/10/18	7,53	507		8,98	95,31	17,6	383,53	
21	10/10/18	6,57	6646		3,88	42,68	18,2	4966,6	
24	23/07/18	6,35	6850	249,4					
	10/10/18	6,84	6127		6,65	72,76	18,0	4601,9	
30	19/09/18	7,3	556				19,0		1,1E+04

No que diz respeito aos valores de pH (Tabela 2) na água da Ribeira da Aroeira (ponto 1) e do Rio Negro (ponto 12), linha de drenagem desta ribeira, em 19/09, estes estão fora do intervalo de VMR para a água de rega. Notar a situação de anormalidade deste parâmetro neste dia de observação, explicado pela provável descarga de material poluente ácido a montante, da qual não se tem mais informação. Sobre a salinidade elevada da água residual das Termas (elevado valor de CE e cloretos do ponto 24), esta tem origem subterrânea devida a problema de selagem de um furo de captação. O efeito agrícola negativo é controlado dentro do possível pela sua drenagem direta rio Lis por bombagem. Quanto à questão microbiológica, de momento não é possível fazer comparações com a legislação, uma vez que as análises quantificaram coliformes totais, enquanto que o Anexo XVI do DL 236/98 estabelece o VMR de 100 UFC/100mL do grupo dos coliformes fecais. A norma portuguesa (NP) 4434:2005 refere os requisitos de qualidade para a reutilização de águas residuais urbanas tratadas na rega de culturas agrícolas, florestais, ornamentais, viveiros, relvados e outros espaços verdes. Esta norma afasta-se claramente do requisito do Anexo XVI do DL 236/98, recomendando valores variáveis e menos restritivos, em função do tipo de cultura e do método de rega. Segundo Monte e Albuquerque (2010), o DL 136/98 é bastante exigente, dado que a água da generalidade dos rios não apresenta teores de coliformes fecais inferiores a 100 UFC/100mL. Os requisitos de qualidade microbiológica estabelecidos na NP 4434 tiveram em consideração o uso das culturas regadas (consumo em cru, consumo animal, floresta, culturas industriais, relvados desportivos, etc.) e o respetivo método de rega aplicado.

A identificação de situações de risco de contaminação microbiana na água de rega que aflui ao Vale do Lis, cuja responsabilidade é externa ao AHVL, obriga a medidas especiais de precaução, nomeadamente a nível da segurança dos agricultores e consumidores. A estes riscos será necessário também avaliar a influência da atividade agrícola no interior do AHVL, designadamente ao nível da rede de drenagem.

3. CONCLUSÕES

O Vale do Lis é uma área muito sensível do ponto de vista hidrológico, sendo a água um elemento preponderante na atividade económica, em especial da agricultura no AHVL, e da preservação da biodiversidade, mas também relacionada com os riscos de conservação da qualidade das massas hídricas em face da grande pressão antropogénica da região, designadamente das águas residuais urbanas do concelho de Leiria. Do ponto de vista hidráulico, o Vale do Lis é um sistema peculiar e complexo, pela confluência de linhas de água com diversos problemas de qualidade, pela existência de condições de risco de salinização da água e do solo, pelos impactes da atividade agro-pecuária e pela prática da reutilização da água de drenagem para rega. Neste contexto de complexidade e sensibilidade ambiental, considera-se que a racionalização da gestão da água do AHVL se deve apoiar mais na sua monitorização. Os resultados obtidos no presente estudo, relativos a 2018, considerando análises físico-químicas e microbiológicas, permitiram concluir que as águas de superfície indiciam situações de risco ao nível de pH, salinização e microbiologia, que justifica agir para solucionar ou mitigar os problemas. Os dados obtidos serão integrados e comparados com os observados por outras entidades, no sentido de melhorar a informação e, consequentemente, a sua valorização e benefícios no apoio à decisão.

AGRADECIMENTOS

O Projeto Grupo Operacional para a Gestão da Água no Vale do Lis (PDR2020-1.0.1-FEADER- 030911) tem o apoio financeiro do PDR2020 cofinanciado pelo FEDER, no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, Programa PDR2020, Medida Inovação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ministério da Agricultura e do Mar – Gabinete de Planeamento e Políticas (MAM-GPP) (2014). Programa de Desenvolvimento Rural do Continente para 2014–2020, Lisboa.
- Backeberg GR (2014) Innovation through research and development for irrigation water management. *Irrigation and Drainage*, 63, 176–185



Campar A, Gama A, Cunha L, Jacinto R, Boura I, Medeiros J, Brandão J (1989) A Bacia Hidrográfica do Rio Lis – Contributo para o Estudo da Organização do Espaço e dos Problemas do Ambiente, Câmara Municipal de Leiria, CCDR-Centro, Coimbra.

Monte H, Albuquerque A (2010) Reutilização de Águas Residuais. Série Guias Técnicos, ISEL-ERSAR, Lisboa.

Almeida C, Mendonça JLL, Silva MAM, Serra A (1999) Síntese da Hidrogeologia das Bacias do Mondego, Vouga e Lis. IV Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos de Língua Oficial Portuguesa, Coimbra.

LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto - Normas de Qualidade da Água - Artº 58º Águas destinadas à rega

REFERÊNCIAS INTERNET

Grupo Operacional para a gestão da água no Vale do Lis (goLis). Disponível em <<https://inovacao.rederural.gov.pt/2/81-grupo-operacional-para-a-gestao-da-agua-no-vale-do-lis>>

Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH). Disponível em: <<http://apambiente.pt/>> em 15-01-2019

CARTOGRAFIAS HIDROGEOLÓGICA E DO POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO NA ÁREA URBANA DE VIANA DO CASTELO: INVESTIGAÇÕES PRELIMINARES

Liliana FREITAS¹, Maria José AFONSO¹, Helder I. CHAMINÉ¹

1. Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA), Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto, Rua do Dr. António Bernardino de Almeida, 431, 4249-015, Porto, lfsfr@isep.ipp.pt, mja@isep.ipp.pt, hic@isep.ipp.pt

RESUMO

A aquisição de dados hidrogeológicos em áreas urbanas, em estreita ligação com as características geotectónicas, geomorfológicas e hidráulicas é, na maioria dos casos, a chave para a previsão dos potenciais impactos negativos da interação entre águas superficiais e águas subterrâneas. A compreensão do papel da cartografia geomorfológica é essencial para avaliar com precisão os sistemas hidrogeológicos e os recursos hídricos subterrâneos. A ocorrência e o movimento das águas subterrâneas está dependente de várias características, nomeadamente a geomorfologia, a litologia, as estruturas geológicas, o grau de alteração, a permeabilidade, o declive, os padrões de drenagem, a ocupação do solo e o clima. Paralelamente aos estudos geológicos e geomorfológicos e à cartografia hidrogeológica, os inventários hidro-históricos, hidrotponímicos, hidrogeológicos e hidrogeoambientais são de vital importância para compreender a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos em meios urbanos (e.g., Afonso et al. 2007a,b, 2016, 2017; Chaminé et al. 2014, 2015, 2016; Freitas et al. 2014, 2016a,b). Nos últimos anos, os avanços nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e na detecção remota têm sido ferramentas preciosas para, entre outros, a gestão integrada dos recursos hídricos em áreas urbanas. As técnicas SIG permitem um excelente desenvolvimento de abordagens multicritério, integrando diversos níveis de informação. A definição de áreas potenciais de infiltração das águas subterrâneas é um dos exemplos nos quais os SIG podem ser utilizados (e.g., Teixeira et al. 2013, 2017; Nag & Kundu 2018).

Este estudo pretende apresentar, de forma exploratória, a metodologia utilizada para identificar áreas potenciais de infiltração das águas subterrâneas, com recurso a uma análise integrada da hidrogeologia, hidrogeomorfologia e dos SIG, na área urbana da cidade de Viana do Castelo. Neste sentido, foi desenvolvido um inventário hidrogeológico exaustivo de todos os pontos de água, bem como um inventário dos potenciais focos de contaminação da água subterrânea. A implementação destes inventários foi precedida duma caracterização hidroclimatológica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica, bem como da ocupação do solo e da hidráulica urbana. Foi criada uma base de dados espacial para organizar todos os dados de entrada, incluindo as características geológicas e hidrogeológicas, tais como litologia, densidade de lineamentos tectónicos, uso e ocupação do solo, densidade de drenagem, declives e precipitação. Todos os dados foram ponderados e sobrepostos, o que permitiu a definição de diversos mapas temáticos para avaliar a distribuição espacial e o controlo da infiltração de água subterrânea. A identificação dos factores determinantes para o cálculo do índice do potencial de infiltração em meios urbanos (IPI-Urban) seguiu a metodologia proposta por Freitas (2018). A normalização dos pesos atribuídos aos vários níveis temáticos foi efectuada recorrendo ao Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchical Process, AHP; e.g. Saaty 2008; Brunelli 2015; Malczewski & Rinner 2015), uma técnica de tomada de decisão multicritério, ao qual se aliou o conhecimento adquirido através dos dados de campo (e.g., Teixeira et al. 2013; Şener et al. 2018). A estrutura adoptada para a grelha dos dados foi de um pixel de 1x1 m². Desta análise resultou um mapa do Índice do Potencial de Infiltração em meios urbanos (IPI-Urban) que representa a combinação de todos os factores, variando entre 0 e 100, no qual os valores mais elevados representam as melhores condições para a infiltração da água, de acordo com todos os factores.

Esta metodologia provou ser muito importante para melhorar o conhecimento dos sistemas de água subterrânea da cidade de Viana do Castelo e, em geral, da hidrogeologia de áreas urbanas. As investigações prosseguem no sentido de aprofundar a abordagem multi-técnica e integrar, por exemplo, dados geológicos urbanos, hidrogeoquímicos e hidrotponímicos e estudos hidrogeológicos de pormenor em sectores-chave.

Palavras-Chave: hidrogeologia de áreas urbanas; inventário hidrogeológico; inventário dos focos de contaminação; índice do potencial de infiltração; Viana do Castelo.

REFERÊNCIAS

- Afonso MJ, Chaminé HI, Carvalho JM, Marques JM, Gomes A, Araújo MA, Fonseca PE, Teixeira J, Marques da Silva MA, Rocha F (2007a) Urban groundwater resources: a case study of Porto City in northwest Portugal. In: KWF Howard (ed.) Urban Groundwater: meeting the challenge. Urban Aquifer Management. International Association of Hydrogeologists Selected Papers. Taylor & Francis Group, London, 8: 271-287.
- Afonso MJ, Marques JM, Guimarães L, Costa I, Teixeira J, Seabra C, Rocha F, Guilhermino L, Chaminé HI (2007b) Urban hydrogeological mapping of the Porto area (NW Portugal): a geoenvironmental perspective. In: L Chery & Gh de Marsily (Eds.), Aquifer Systems Management: Darcy's Legacy in a World of Impending Water Shortage. International Association of Hydrogeologists Selected Papers. Taylor & Francis Group, London, 10: 389-404.
- Afonso MJ, Freitas L, Pereira A, Neves L, Guimarães L, Guilhermino L, Mayer B, Rocha F, Marques JM, Chaminé HI (2016) Environmental groundwater vulnerability assessment in urban water mines (Porto, NW Portugal). *Water* 8: 499.
- Afonso MJ, Marques JM, Chaminé HI (2017) Hidrogeologia urbana: domínio científico vital nos estudos de ordenamento do território, engenharia e recursos hídricos. In: JA Simões Cortez (coord.), *Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Norte*, Mare Liberum editora, Aveiro, p. 355-397.
- Brunelli M (2015) Introduction to the Analytic Hierarchy Process. SpringerBriefs in Operations Research, Springer International Publishing, Berlin
- Chaminé HI, Afonso MJ, Freitas L (2014) From historical hydrogeological inventory through GIS mapping to problem solving in urban groundwater systems. *Eur Geol J* 38: 33-39.
- Chaminé HI, Carvalho JM, Teixeira J, Freitas L (2015) Role of hydrogeological mapping in groundwater practice: back to basics. *Eur Geol J* 40: 34-42.
- Chaminé HI, Teixeira J, Freitas L, Pires A, Silva RS, Pinho T, Monteiro R, Costa AL, Abreu T, Trigo JF, Afonso MJ, Carvalho JM (2016) From engineering geosciences mapping towards sustainable urban planning. *Eur Geol J* 41: 16-25.
- Freitas L (2018) Avaliação integrada de recursos hídricos em áreas urbanas: aplicações para a sustentabilidade e o ordenamento territorial. Universidade de Coimbra, 431 p. + anexos.
- Freitas L, Afonso MJ, Devy-Vareta N, Marques JM, Gomes A, Chaminé HI (2014) Coupling hydrotoponymy and GIS cartography: a case study of hydro-historical issues in urban groundwater systems, Porto, NW Portugal. *Geogr Res* 52(2): 182-197.
- Freitas L, Pereira AJSC, Afonso MJ, Chaminé HI (2016a) Urban groundwater mapping techniques: importance on urban water cycle. In: JM Failde, A Formella, JA Fraiz, M Gómez-Gesteira, F Pérez, VR Vázquez (eds.), *Proceedings Ist International Congress on Water Healing Spa and Quality of Life / I Congreso Internacional del Auga, Termalismo y Calidad de Vida (Ourense, Spain, 23-24 September 2015)*, Campus da Auga, Vicerrectoría del Campus de Ourense, Universidade de Vigo, p. 145-150.
- Freitas L, Rodrigues CL, Afonso MJ, Chaminé HI (2016b) The role of hydrogeological and contamination sources inventories in groundwater management: Porto City (NW Portugal). 2490. Abstract 35th International Geological Congress, Cape Town, South Africa. (<http://www.americangeosciences.org/information/igc>).
- Malczewski J, Rinner C (2015) *Multicriteria decision analysis in geographic information science*. Springer, New York
- Nag SK, Kundu A (2018) Application of remote sensing, GIS and MCA techniques for delineating groundwater prospect zones in Kashipur block, Purulia district, West Bengal. *Appl Wat Sci* 8: 38.
- Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. *Int J Serv Sci* 1(1): 83-98.
- Şener E, Şener Ş, Davraz A (2018) Groundwater potential mapping by combining fuzzy-analytic hierarchy process and GIS in Beyşehir Lake Basin, Turkey. *Arab J Geosci* 11: 187.
- Teixeira J, Chaminé HI, Carvalho JM, Pérez-Alberti A, Rocha F (2013) Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. *J Maps* 9(2): 263-273.
- Teixeira J, Chaminé HI, Carvalho JM, Rocha F, Pérez-Alberti A (2017) Hidrogeomorfologia: sua importância na caracterização dos recursos hídricos subterrâneos e hidrominerais. In: JA Simões Cortez (coord.), *Águas Minerais Naturais e de Nascente da Região Norte*, Mare Liberum editora, Aveiro, p. 87-155.

GEOLOGIA, HIDROGEOLOGIA E GEOFÍSICA: UMA COMBINAÇÃO AO SERVIÇO DAS ÁGUAS MINERAIS NATURAIS SULFÚREAS DA REGIÃO DE VIMIOSO

Alcino Sousa OLIVEIRA¹, Enrique ARACIL^{2,3}, Ana RIVERA², José Manuel Martinho LOURENÇO⁴

1. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, CEMMPRE, soliveir@utad.pt

2. Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L., Pozuelo de Alarcón (Madrid, Espanha), e.aracil@ags-geofisica.com

3. Universidad Complutense de Madrid, (Espanha), earacil@ucm.es

4. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, CEMMPRE, martinho@utad.pt

RESUMO

O objetivo deste trabalho é demonstrar que através da aplicação de técnicas geofísicas por métodos elétricos em domínios de rochas cristalinas fraturadas, em conjugação com dados de campo geológicos e hidrogeológicos, é possível identificar a estratificação de sistemas hidrominerais, a interconectividade hidráulica entre setores hidrominerais discretos, o setor de águas meteóricas e os alvos com potencial hidromineral acrescido suscetíveis para a captação e exploração de águas minerais. Esta metodologia foi aplicada no contexto de trabalhos de prospeção e pesquisa de águas minerais sulfúreas na região de Vimioso (zona de Terronha) tendo em vista a sua exploração em termalismo, nas Termas da Terronha-Vimioso. Do ponto de vista hidroquímico, o sistema hidromineral comporta água de tipologia bicarbonatada, sódica, sulfúrea, fluoretada, silicatada e de pH alcalino. Este sistema integra-se numa zona onde ocorrem rochas cristalinas, granitos e metassedimentos, sendo que sua zona de descarga se associa a um setor definido por contacto mecânico e/ou litológico entre granito e corneanas pelíticas. Os resultados alcançados na zona de descarga, com dados de geologia/hidrogeologia de campo e de geofísica, a partir de secções de tomografia elétrica, mostram a existência de um sistema aquífero mineral estruturado em blocos discretos, distribuídos a diferentes profundidades, por vezes interconectados hidráulicamente, e associados a zonas de maior fraturação ou no contacto entre as duas litologias dominantes na zona. No nível mais superficial regista-se um sistema aquífero não mineral, mais regular e mais contínuo lateralmente, enquadrado nos setores de rochas mais alteradas e fraturadas. Para a pesquisa mecânica dos níveis produtivos de água mineral sulfúrea e para o desenvolvimento das captações consequentes e definição das suas características os resultados dos estudos geofísicos revelaram-se fundamentais.

Palavras-Chave: Prospeção geofísica, tomografia elétrica, sistema aquífero, águas minerais naturais.

1. INTRODUÇÃO

No domínio das águas subterrâneas em ambientes de rochas fraturadas os polos hidrominerais correspondem a zona discretas, onde os setores de descarga se associam a zonas bastante localizadas, ao longo de fraturas ou no seu cruzamento. Deste modo na perspectiva da sua revelação, quer superficialmente quer em profundidade, e da sua exploração é fundamental executar trabalhos de detalhe geológico-estruturais, hidrogeológicos e geofísicos, particularmente por métodos elétricos. Neste contexto, nos últimos anos, diversos trabalhos nesta área têm vindo a ser realizados pelos autores em ambiente de rochas cristalinas fraturadas, graníticas e/ou metassedimentares, em setores enquadrados em polos hidrominerais sulfúreos, gasocarbónicos e de águas hipossalinas. Os resultados têm demonstrado que os sistemas hidrominerais apresentam uma estrutura geométrica complexa, controlada por níveis litológicos específicos, zonas de contacto litológico e zonas fraturadas ou fraturas. Os setores hidrominerais, resultam assim em vários níveis de profundidade como células discretas isoladas, de dimensão variável, por vezes interconectadas hidráulicamente. Em zonas menos profundas revela-se a tendência de se constituírem células hidrominerais de maior continuidade lateral, alimentadas a partir de células mais profundas por estruturas geohidráulicas localizadas e discretas.

O conhecimento desta estruturação é fundamental para, entre outros, orientar a pesquisa mecânica do recurso hidromineral em causa, desenvolver a construção mais adequada das captações, dos níveis a captar e da proteção do sistema aquífero e da captação.

A investigação do subsolo com prospeção geofísica pelo método da resistividade elétrica permite analisar os materiais do ponto de vista da sua resistividade. Uma formação rochosa que apresenta uma grande resistência à passagem da corrente elétrica será uma formação que, do ponto de vista deste tipo de investigação, apresenta uma elevada resistividade enquanto que um aquífero, que apresenta uma resistência reduzida à passagem da corrente elétrica, será caracterizado por baixos valores de resistividade.

A mineralização das águas subterrâneas é variável em função da sua origem e do sistema aquífero a que pertencem, nomeadamente se existem sistemas aquíferos minerais e não minerais no mesmo ambiente geológico/hidrogeológico. Naturalmente os primeiros respondem com menor resistividade à passagem da corrente elétrica, localizam-se a maiores profundidades, e apresentam comportamento geohidráulico típico de maciços fraturados. Os segundos respondem com maior resistividade quando solicitados por cargas elétricas e, do ponto de vista geohidráulico podem apresentar comportamento afim a maciços porosos devido à sua localização mais superficial, por vezes em rochas cristalinas muito fraturadas e alteradas.

A área objeto de estudo localiza-se na zona de Vimioso, num contexto litológico principalmente de maciços cristalinos fraturados de rochas metassedimentares silúricas (Formação de Campanhó e Ferradosa e Formação Infraquartzítica), com filitos silico-carbonosos, metapsamitos e metagrauvaques, e de rochas graníticas hercínicas (granito de Caçarelhos) (Sousa Oliveira, 2009). As famílias de fraturas mais comuns têm orientação NNE-SSW a ENE-WSW e NW-SE a WNW-ESE. O polo hidromineral sulfúreo, localizado na zona da Terronha, enquadra-se no contacto entre o granito de Caçarelhos e os metassedimentos que nessa zona evoluíram para corneanas pelíticas. As rochas na zona do contacto, com orientação variável entre NNE-SSW a ENE-WSW, encontram-se muito tectonizadas. Na Terronha, junto do rio Angueira, condicionada por este contacto, localiza-se uma nascente de onde emergem águas minerais de natureza sulfúrea. Na proximidade do mesmo contacto desenvolveram-se duas captações por furo que intersetaram o sistema hidromineral sulfúreo da região A composição desta água mineral, de tipologia sulfúrea, bicarbonatada, sódica, fluoretada, silicatada, alcalina é afim à interação água meteórica/granito de Caçarelhos.

Os resultados e a análise aqui apresentados resultam de estudos desenvolvidos no âmbito de trabalhos de prospeção e pesquisa para a revelação e caracterização do sistema hidromineral sulfúreo, promovido pelo Município de Vimioso, através da Universidade de Trás-os-Montes e Alto, para a implementação das Termas da Terronha-Vimioso. Os estudos geofísicos foram desenvolvidos em parceria com a empresa AGS - Análisis y Gestión del Subsuelo, S.L. (Madrid-Espanha).

Os trabalhos de prospeção geofísica pelo método da resistividade elétrica permitiram, entre outros, definir zonas com maior potencial hidromineral e locais mais favoráveis para a execução de captações.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

O desenvolvimento dos trabalhos de prospeção geofísica pelo método da resistividade elétrica foi precedido de vários estudos, nomeadamente de fotointerpretação, reconhecimento geológico da região, trabalhos de cartografia geológica e hidrogeológica, incluindo a análise de informação relativa a um furo de captação de água mineral sulfúrea já existente. A integração dos resultados foi fundamental para selecionar a zona de maior interesse para os estudos de prospeção geofísica..

Nos trabalhos de prospeção geofísica pelo método da resistividade elétrica, aplicou-se a técnica de tomografia elétrica. Esta técnica, que resulta na obtenção de secções bidimensionais do terreno (vd. figura 1), representa secções verticais até uma dada profundidade de investigação, dependente do número de elétrodos utilizados, do espaçamento entre elétrodos e da sua configuração (dispositivo). Todas as secções realizadas (apresenta-se apenas 1 exemplo) utilizaram 72 elétrodos, separados entre si de 10 m, perfazendo um comprimento total de 710 m e uma profundidade de investigação variável. Para as secções realizadas com dispositivos Wenner-Schlumberger e dipolo-dipolo a profundidade de investigação foi 150 m, enquanto que para as secções realizadas com dispositivo polo-dipolo foi 270 m. A tomografia elétrica consiste na injeção de corrente no terreno, com intensidade conhecida, através de elétrodos alinhados à superfície, em posições conhecidas (Reynolds, 1997; Kearey *et al.*, 2002; Aizawa, 2014), e na medição

dos potenciais gerados por essa injeção noutros elétrodos do mesmo alinhamento, a partir dos quais se determinam valores de resistividade. Os valores de resistividade podem ser representados sob a forma de uma secção vertical com uma dada profundidade (parcialmente dependente do comprimento da secção), segundo uma escala de cores que permite uma melhor interpretação das características do subsolo investigado. Esses diferentes valores/cores podem corresponder à presença de diferentes litologias, diferentes graus de alteração, fraturação e/ou presença de água com mineralizações variadas.

3. RESULTADOS

Em todas as secções de tomografia elétrica, das quais se apresentam apenas duas (figura 1) foram analisados os valores de resistividade das rochas e a sua distribuição espacial e interpretados os setores anómalos, que configuram estarem associados a sistemas aquíferos, em sintonia com os elementos geológico-estruturais e hidrogeológicos locais. Essa análise permitiu identificar várias situações de compatibilidade com os elementos pré-analisados, que são resumidas nos pontos seguintes.

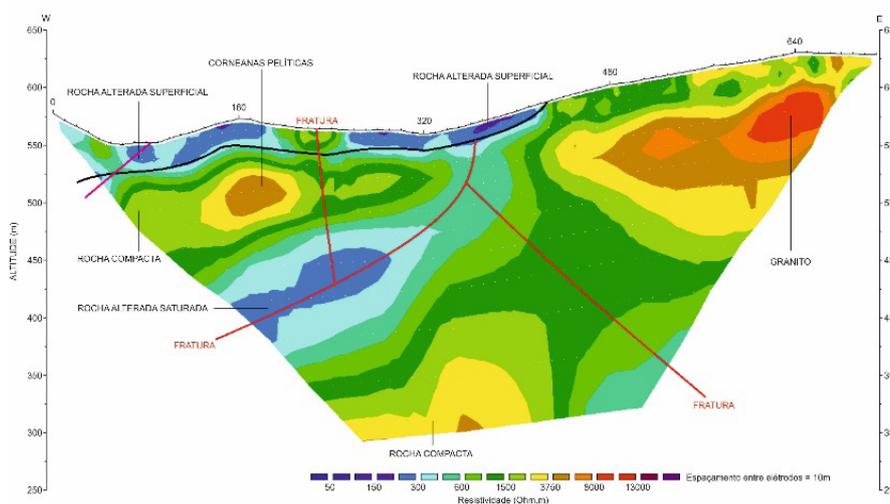


Fig. 1. Secção (a) de tomografia elétrica realizado na zona de Terronha (Vimioso) onde as litologias predominantes são o granito de Caçarelhos (setor a este) e as rochas metassedimentares (setor a oeste).

3.1 Geologia vs. geofísica

As unidades geológicas da zona estudada são de natureza granítica e metassedimentar. A rocha granítica (granito de Caçarelhos) pode apresentar um caráter mais compacto do que as rochas metassedimentares (Formação de Campanhó e Ferradosa e Formação Infraquartzítica). Os valores de resistividade são elevados em ambas as situações, sendo, contudo, algo superiores no caso do granito. Os valores mais moderados associam-se principalmente ao mesmo granito afetado por processos de alteração e/ou fraturação com características distintas das que afetam normalmente esta litologia, sendo que os valores mais baixos indiciam a presença de água mais ou menos mineralizada nessas estruturas. Valores relativamente baixos parecem também estar associados ao contacto entre o granito e as corneanas, onde se veio a revelar a presença de água sulfúrea (figura 1).

A interpretação da imagem e distribuição das resistividades das secções revela ainda a presença de estruturas geoeletricas compatíveis com o padrão e com elementos estruturais do levantamento geológico efetuado. O contacto entre ambas as litologias pode ser mecânico e/ou apenas litológico e apresenta uma direção próxima de NNE-SSW a NE-SW (figura 2), com as formações metassedimentares localizadas principalmente a oeste e o granito de Caçarelhos a este (figuras 1, e 2). Ambas as unidades geológicas se encontram afetadas por fraturas, contudo mais frequentes e mais desenvolvidas no setor NW, onde predominam as rochas metassedimentares.

3.2 Sistemas aquíferos

A mineralização das águas subterrâneas é variável em função da sua origem e do sistema aquífero a que pertencem, como é o que acontece neste trabalho. A interpretação dos resultados nas secções executadas (exemplo, figura 1) permite identificar dois tipos de sistema aquífero, um sistema aquífero não mineral e um sistema aquífero mineral. O primeiro localiza-se mais superficialmente, nas zonas mais fraturadas e alteradas, até cerca de 40m de profundidade, e tem comportamento livre. O segundo sistema aquífero, o sistema hidromineral sulfúreo, localiza-se de forma irregular, é mais profundo, integrando-se num sistema de fraturas que afeta o conjunto do maciço fraturado granítico/metassedimentar e em setores de rocha alterada saturada. Do ponto de vista geohidráulico apresenta comportamento cativo. Nas secções geofísicas este último sistema aquífero parece discriminar-se em dois tipos de anomalias, os setores de baixa resistividade, entre 25 e 300 ohm.m, e os setores de resistividade entre 400 e 700 ohm.m (figuras 1 e 2). Os setores de menor resistividade situam-se junto da estrutura de contacto, no lado NW do mesmo, sob a influência das corneanas/granito de Caçarelhos.

Destacam-se ainda as fraturas identificadas que por vezes interligam os diferentes níveis com anomalias interpretadas como hidrominerais. Estas anomalias demonstram estarem associadas ao sistema hidromineral sulfúreo pois que dois furos executados para pesquisa e captação de água mineral sulfúrea assim o revelaram, inclusive a profundidade onde se intersetaram os níveis produtivos, que num dos casos corresponde ao contacto entre as corneanas e o granito.

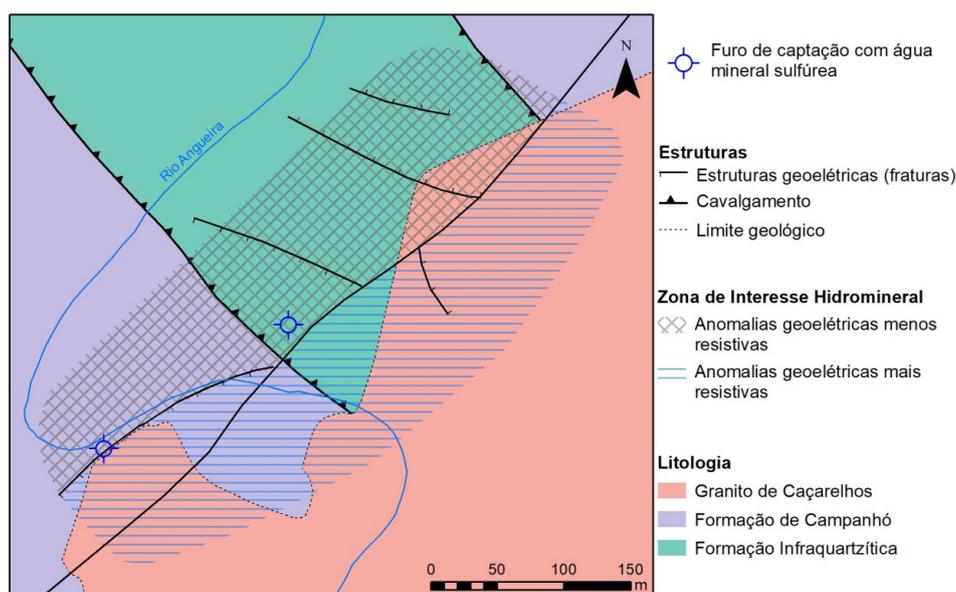


Fig. 2. Mapa de resultados litológicos, estruturais, hidrogeológicos e geofísicos da zona de Terronha (Vimioso). Por razões de confidencialidade não se apresentam as indicações nem orientações das secções geofísicas. (Base geológica segundo Sousa Oliveira, 2009).

4. CONCLUSÕES

O polo hidromineral sulfúreo de Terronha enquadra-se num setor dominado por unidades geológicas fundamentalmente de natureza granítica e metassedimentar. O contacto entre estas duas unidades, mecânico e/ou litológico, apresenta a direção variável entre NNE-SSW a NE-SW. Ambas as unidades geológicas se encontram afetadas por fraturas que os compartimentam e se identificam nas secções geofísicas e que são compatíveis com o padrão de fraturação geológico da zona estudada. Estas secções revelam a presença de dois sistemas aquíferos, um não mineral, mais superficial, e outro mineral sulfúreo, mais profundo, compartimentado em células de geometria variável e onde a ligação destas é feita por fraturas discretas. A distribuição das anomalias de resistividade a que se associa este sistema hidromineral apresenta um padrão setorizado, cuja linha divisória é aproximadamente a estrutura que define o contacto entre as rochas metassedimentares e o granito. Aqui, os setores de resistividades variáveis entre 25 e 300 ohm.m e entre 400 e 700 ohm.m são tendencial e respetivamente compatíveis com as rochas metassedimentares e o granito. As captações

desenvolvidas para exploração de água mineral sulfúrea intersetaram estes dois setores, confirmando-se assim o modelo deste sistema hidromineral que propomos para a zona de descarga.

A prospeção geofísica pelo método da resistividade elétrica veio assim demonstrar que, quando aplicada e interpretada de um modo integrado com a informação geológica e hidrogeológica, é fundamental para a definição do modelo hidrogeológico local, permitindo orientar a localização de novas captações, a profundidade das mesmas e a profundidade dos níveis produtivos, entre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Câmara Municipal de Vimioso a autorização da publicação de resultados que aqui se apresentam, decorrentes do estudo desenvolvido no âmbito do estudo das águas minerais naturais sulfúreas de Terronha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aizawa T (2014). The Geoelectrical method. In The Society of Exploration Geophysicists of Japan (Ed). *Application manual of geophysical methods to engineering and environmental problems*, (pp. 171-261). Houten, The Netherlands. EAGE Publications. ISBN 978-90-73834-88-0.
- Kearey P, Brooks M, Hill I (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration* (3rd ed). Oxford: Blackwell science. ISBN 0-632-04929-4.
- Reynolds J M (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. N. York: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-96802-1.
- Sousa Oliveira, A (2009). Águas minerais naturais numa área situada no concelho de Vimioso. Estudo das águas sulfúreas de *Terronha*. Relatório para a obtenção de concessão de exploração (furo de captação AQ1). Vimioso, Portugal: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e Câmara Municipal de Vimioso. Vimioso. Colaboradores: Lourenço, J. M. M., Sousa, L. M. O., Almeida, S. M. S. & Pereira, A. J. C. M.

O POTENCIAL TERMAL DAS TERMAS DA AREOLA-MEDA

Pedro J. COELHO FERREIRA¹, Luis M. FERREIRA GOMES², Alcino SOUSA OLIVEIRA³, Rui Miguel M. MOURA⁴, José Martinho LOURENÇO⁵

1. Município de Meda, Largo do Município, 6430-197 Meda; pedroferreira@cm-meda.pt

2. Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã, GEOBIOTEC; lmf@ubi.pt

3. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, CEMMPRE, soliveir@utad.pt.

4. Universidade do Porto, Rua Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, ICT-FCUP, rmmoura@fc.up.pt.

5. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Quinta de Prados, 5001-801 Vila Real, CEMMPRE, martinho@utad.pt.

RESUMO

O presente artigo visa sintetizar alguns elementos sobre as Termas antigas da Areola, completamente abandonadas e “perdidas no mato e no tempo”. Este estudo vem no sentido de mostrar o potencial existente, de modo a que possa servir de instrumento de trabalho credível para alavancar estudos posteriores e financiamentos consequentes. O interior de Portugal necessita de novos projetos que contrariem o despovoamento que infelizmente está a acontecer em zonas como o concelho de Meda, que tão importante já foi, e se acredita que voltará a ser para o desenvolvimento da economia desta região. Assim, no presente trabalho, após breve nota histórica das Termas da Areola, bem como a caracterização sumária do seu recurso com alguns elementos sobre o seu potencial termal e geotérmico, é apresentado o enquadramento geográfico, geomorfológico e geológico, dando ênfase aos trabalhos de levantamento da fraturação e de prospeção geofísica, indicando locais com potencial para novas captações.

Palavras-Chave: Termas da Areola; Aquífero Termal; Águas sulfúreas; Meda.

1. INTRODUÇÃO

As antigas Termas da Areola, encontram-se atualmente ao abandono, no entanto, o conhecimento das mesmas vem de há muito tempo. Já Fonseca Henriques (1726) no Aquilégio Medicinal, o primeiro inventário de águas minerais naturais, faz uma referência às termas em estudo, designando-as por Caldas de Ranhados, com uma água sulfúrea usada em banhos e com admiráveis efeitos. Depois merece referência o registo do médico João Maria de Larcérda, em 22 de outubro de 1895 (Oliva, 1913), em relação aos banhos da Areola: “aquecia-se a água em caldeira de cobre e panelas de barro e lançava-se e temperava-se em toscas banheiras de madeira, tomando o banho ao abrigo de uma toska cabana ou uns casebres mal reparados” (Larcérda, 1895, in Oliva, 1913). O Alvará foi, entretanto, concedido pelo Estado em 1912. Em 1913, pelo constatado numa brochura sobre as termas da Areola, já existia no local um belo edifício, com uma arquitetura interna e equipamento muito avançado para a época: além do sistema de captação e adução, casa das máquinas com reservatório, caldeira e bomba, havia um quarto para consultório, sala de espera, 6 quartos com banhos de imersão e um quarto com banho de chuva (provável género de banho turco). Em 1975, as Termas da Areola aparecem referenciadas no Inventário Hidrológico de Portugal de Almeida e Almeida (1975), onde foi publicada uma análise química da água da Areola. Entretanto, com a importância das praias em Portugal, com o despovoamento da região provocado em especial pela emigração, as termas deixaram de ser usadas, situação que aliada ao facto de nunca ter existido um bom acesso ao local, terá contribuído, acredeita-se, para o seu total abandono. Deste modo, é necessário mostrar elementos que evidenciem que no século XXI existe ali potencial para, no mínimo, resultarem numas termas especiais com um recurso naturalmente quente, de modo a contribuir para o aquecimento do balneário na época de inverno.

As águas das antigas Termas da Areola emergem junto ao antigo edifício termal, numa pequena nascente com um caudal de 0,20L/s, apresentando uma temperatura de 20°C, pH de 7,98 e condutividade de 506µS/cm. De acordo com as análises físico-químicas realizadas a estas águas por Almeida e Almeida (1975), as mesmas podem ser classificadas como sulfúreas, fluoretadas, fracamente mineralizadas, bicarbonatadas-sódicas e alcalinas, com temperaturas superiores às das águas correntes da região. Os geotermómetros de sílica e Na/K apontam para valores de temperatura

de reservatório da ordem dos 84,2°C (Coelho Ferreira et al., 2015). Relativamente à profundidade do reservatório, através do modelo de Rybach (1990), ainda segundo Coelho Ferreira et al. (2015), estima-se para as águas da Areola uma profundidade da ordem dos 2200m.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO, GEOMORFOLÓGICO E GEOLÓGICO

Em termos geográficos (Fig.1), as “Termas da Areola” localizam-se na proximidade da antiga aldeia da Areola, concelho de Meda e distrito da Guarda. Situam-se a escassos 4,3km do centro da cidade de Meda, com acessos excelentes em estradas com betuminoso até à Areola. Desta localidade até ao lugar das termas existem apenas caminhos de terra batida e atualmente um carro tem de ficar a cerca 300m do balneário das Termas da Areola.

No que diz respeito à geomorfologia, estas termas localizam-se na bordadura da margem direita da ribeira Teja, com direção local NE-SW, onde as suas águas emergem a uma altitude de 527m. Localmente, o vale é muito encaixado e apresenta assimetria morfológica das margens; a encosta da margem direita é menos declivosa, embora atinja altitudes de 574m. Essa suavidade aparente poderá ser explicada devido à ocorrência de uma pequena linha de água que conflui com a ribeira Teja, com direção NW-SE, na proximidade da emergência da água mineral. Por sua vez a margem esquerda é de elevado declive, atingindo altitudes na ordem dos 639m junto da localidade de Canada. A ribeira Teja é um afluente da margem esquerda do rio Douro, correndo de Sul para Norte, numa direção global de NNE-SSW, afluí ao rio Douro a cerca de 19km para NNE da zona das Termas (Fig.2a).

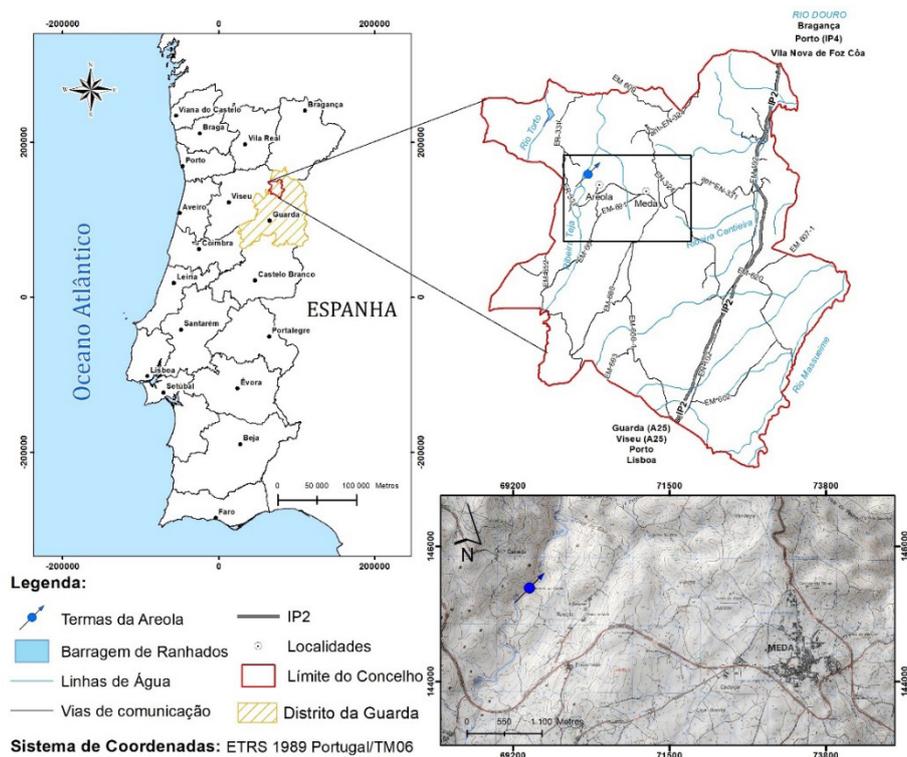


Fig. 1. Localização geográfica das Termas da Areola e a sua posição relativa à cidade de Meda. Extrato da Carta Militar n.º 150, à escala 1:25000, dos Serviços Geográficos do Exército (Coelho Ferreira, 2019).

Relativamente à geologia desta área, as formações mais antigas são os metassedimentos ante-Ordovícicos do Grupo do Douro, mais conhecidos como Complexo Xisto-Grauváquico; estes afloram maioritariamente na parte norte da região, enquanto na parte sul ocorrem os granitoides que intruíram o Complexo Xisto-Grauváquico no eixo do antiforma de Lamego-Penedono-Escalhão, durante a terceira fase da deformação Hercínica (D3). Estão representados na área em estudo os granitos de duas micas, sin-D3 (Granitos de Meda) e granitos porfíroides, pós-D3 (Granito de

Alto Rio Torto). Ao longo do período tardi e pós-Hercínico ocorreu a instalação de um cortejo filoniano que intruiu os metassedimentos e os granitoides através de fraturas do tipo distensivas; as estruturas filoneanas presentes são do tipo **pórfiros graníticos/riolíticos, microgabros, basaltos alcalinos, massas pegmatíticas ou aplito-pegmatíticas e de quartzo**; a cobrir todo este conjunto ocorrem, principalmente no vale da ribeira Teja, formações de cobertura do Cenozóico (Silva e Ribeiro, 1991). Localmente, a nascente das Termas da Areola encontra-se em rochas graníticas, nomeadamente na formação dos granitos de Meda, mas na proximidade, para norte, ocorrem as rochas metamórficas da formação Rio Pinhão, constituída por metaquartzozoaques e filitos. O esboço geológico com algum detalhe da zona das Termas apresenta-se na Fig. 2b, sendo de salientar que se interpreta que a nascente da Areola é o resultado de interseção em profundidade de uma extensa falha NE-SW, sub-vertical, com uma falha de menor extensão de direção NW-SE, que se admite que inclina para SW; entende-se que esta falha fará o contacto entre as formações graníticas a sul, com as xistentas a norte.

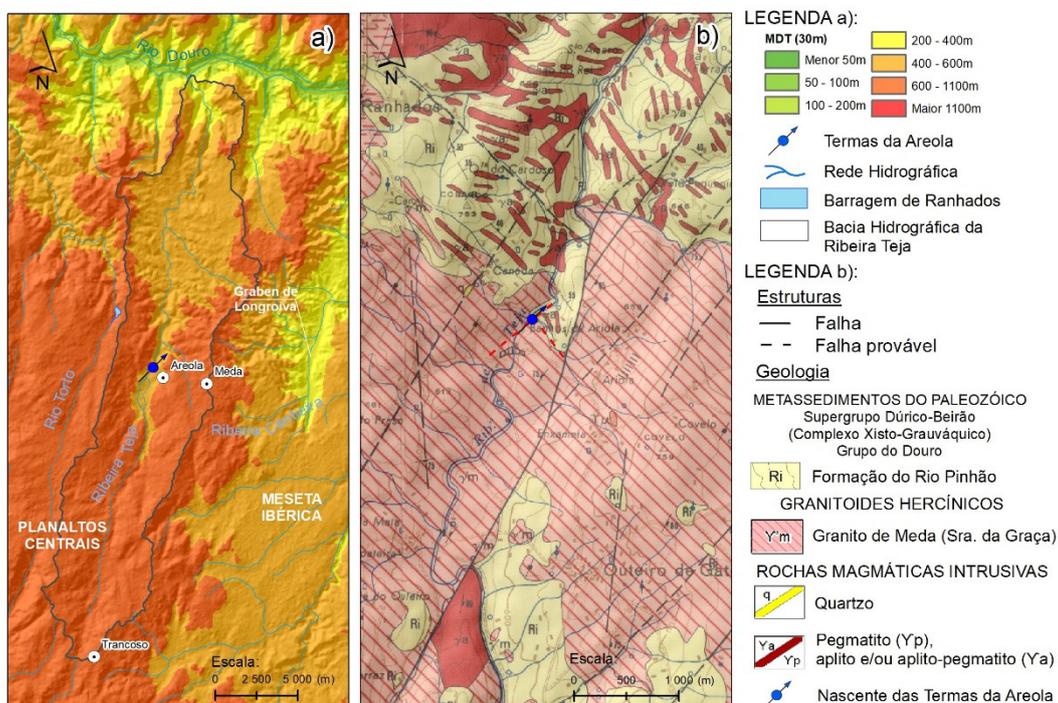


Fig. 2. Enquadramento da zona de estudo: a) geomorfológico (Coelho Ferreira, 2019); b) geológico, a partir da carta geológica de Portugal (Silva e Ribeiro, 1991).

3. ESTUDOS DE FRATURAÇÃO LOCAL E GEOFÍSICOS

Efetou-se o levantamento estrutural da zona das Termas da Areola e envolventes (Fig. 3a); ao analisar a rede de fraturas dessa área verifica-se a existência de quatro famílias de fraturas bem definidas, a saber: ENE-WSW a E-W; NNE-SSW; NW-SE a NNW-SSE e N-S. As Termas da Areola encontram-se junto a uma falha de deslizamento esquerdo, com direção global NNE-SSW, designada em Silva e Ribeiro (1991) por Falha de Murça, provavelmente singenética da Falha da Vilariaça.

De modo a complementar o estudo da fracturação e com o intuito de localizar novas captações, foram realizados ensaios geofísicos, geoelectricos do tipo polo-dipolo, com um eléctrodo de corrente localizado perpendicularmente ao alinhamento do dispositivo, a uma distância superior a dez vezes o maior espaçamento entre eléctrodos de potencial. Para anular o efeito de assimetria do dispositivo realizaram-se medições duplas em sentido direto e inverso, que resultaram em três perfis com a implantação no terreno de acordo com o apresentado na Fig. 3a. Como resultado principal salienta-se que claramente foram definidas zonas anómalas com potencial de se obter água sulfúrea em profundidade; os locais com mais potencial apresentam-se evidenciados na Fig. 3b, sendo esses pontos, A, B e C, aqueles onde se propõe realizar sondagens de prospeção e pesquisa de modo a comprovar estes modelos. Na Fig. 3c apresentam-se as secções geofísicas com a interpretação e identificação das anomalias. Nas três secções verifica-se, de uma forma geral, a existência de duas unidades com comportamentos geoelectricos diferenciados. A

mais profunda, com valores de resistividade aparente muito elevados, superiores a 3000 Ohm.m, deverá corresponder a granito ou metassedimentos sem qualquer produtividade aquífera. Acima desta, com espessura variável entre cerca de 15 m e 30 m, desenvolve-se uma outra unidade caracterizada por resistividades aparentes inferiores às anteriores, compatíveis com a presença de rochas graníticas ou metassedimentares alteradas, no seio das quais se entende circular água sulfúrea. As estruturas aí evidenciadas, enraizadas em profundidade, deverão traduzir a presença de uma zona intensamente fraturada, cujos valores de resistividade aparente mais baixos, inferiores a 30 Ohm.m, são compatíveis com a presença dessas águas, entendendo-se por estes motivos que corresponde a uma zona de ascensão de água sulfúrea quente.

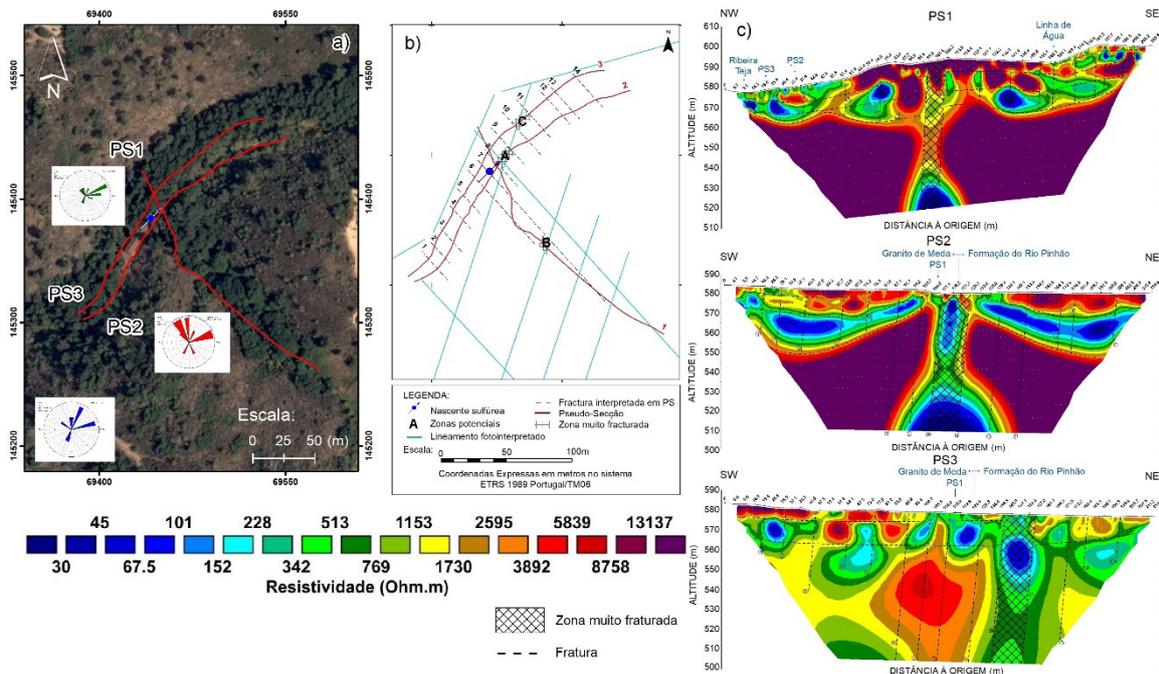


Fig. 3. Resultados obtidos: a) principais sistemas de fraturas; b) principais fraturas interpretadas e locais potenciais de prospeção mecânica A, B e C; c) secções geofísicas a partir de ensaios geolétricos.

4. CONCLUSÕES

De acordo com o apresentado no presente trabalho destaca-se o seguinte:

- i. O local das Termas da Areola situa-se a escassos 4,3 km do centro da cidade de Meda;
- ii. As Termas da Areola foram das primeiras unidades termais do País a ter Alvará, sendo de salientar que foi obtido em 1912, tendo sido publicado no Diário do Governo nº115 de 17 de maio de 1912;
- iii. A água das Termas da Areola pertence ao grupo das águas sulfúreas;
- iv. O caudal atual é modesto, pois nasce no fundo de um tanque de pedra de granito, pelo seu artesianismo natural, de modo a debitar cerca de 0,72 m³/h;
- v. A localização de uma nova captação deve ter em atenção as três zonas anómalas, por ordem de potencial, identificadas pelos estudos da fraturação e do ensaio geofísico, sinalizadas como A, B e C na Fig. 3b;
- vi. Se for efetuada uma captação nova do tipo furo sub-vertical, com cerca de 500m, aquele caudal admite-se que se poderá incrementar para cerca 5L/s, em artesianismo repuxante e a temperatura a obter pode ir para a grandeza de 39°C; enfatiza-se que a temperatura teórica de reservatório a profundidade de 2200m é de 84°C.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. e Almeida J. D. (1975). Inventário Hidrológico de Portugal. Edição Instituto de Hidrologia de Lisboa. Lisboa. pp. 88-111
- Coelho Ferreira, P. J; Ferreira Gomes, L. M; Oliveira, A S.; Carvalho, P.E.M. (2015). Contribution to the knowledge of the geothermal potential of the Municipality of Meda (Portugal). Proceedings World Geothermal Congress 2015; AUS-NZL 19-24 April. Ed. Horne, R and Boyd, T., paper 16012, 12p.
- Coelho Ferreira, P. J. (2019). Modelação de Sistemas Geohidráulicos Profundos Associados a Fraturas Extensas da Região da Meda. Tese de Doutoramento. Universidade da Beira Interior. Covilhã (no prelo).
- Fonseca Henriques, F. (1726). Aquilégio Medicinal. Edição Fac-similada e, 1998 Instituto Geológico Mineiro.
- Oliva, L.S. (1913). Águas Minero-Medicinaes da Areóla no Concelho da Mêda. Pap. Luso-Brazileira, Lisboa, 12p.
- Rybach, L. (1990). Determination of termal water circulation depth, with examples from the Valaisan Alpes, Switzerland. Memoires of the 22nd Congress of IAH, Vol. XXII. Lusanne, 608-615.
- Silva, A.F. e Ribeiro, M.L. (1991). Notícia Explicativa e Carta Geológica de Portugal. Escala 1/50000. Folha 15-A, Vila Nova de Foz Côa. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.

VARIAÇÃO TEMPORAL DO GÁS RADÃO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E FATORES CONDICIONANTES – DADOS PRELIMINARES

Alcides PEREIRA^{1,2}, Sérgio SÊCO³, Nelson SIMÕES², Filipa DOMINGOS¹

1. CITEUC, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Universidade de Coimbra, apereira@det.uc.pt

2. LRN, Laboratório de Radioatividade Natural, Universidade de Coimbra, lipa_domingos@hotmail.com, nelson.simoese@uc.pt

3. MARE, Centro de Ciência do Mar e do Ambiente, Universidade de Coimbra, osergioseco@gmail.com

RESUMO

O gás radão pode existir em concentrações muito significativas na água e por ser radioativo pode expor a população a níveis consideráveis de radiação por ingestão ou por inalação. Por outro lado, pode ser utilizado como um traçador natural dos processos hidrogeológicos. No presente estudo efetuaram-se 10 campanhas de amostragem, entre maio de 2018 e janeiro de 2019, numa emergência localizada na área urbana de Oliveira do Hospital e mediram-se diversos parâmetros radiológicos bem como o caudal e a temperatura. Os resultados obtidos indicam que as concentrações do gás mostram elevada variabilidade temporal e que se podem relacionar com variações no caudal. Discutem-se as implicações nos modelos hidrogeológicos bem como no protocolo do controlo da qualidade da água para águas de consumo.

Palavras-Chave: Radão; Água; Hidrogeologia; Batólito das Beiras; Oliveira do Hospital.

1. INTRODUÇÃO

Existem diversas fontes de exposição a radiações ionizantes que se dividem comumente em duas categorias, as fontes naturais e fontes artificiais. Dentro da categoria das fontes naturais, o radão é considerado a principal fonte de exposição de origem natural, através de inalação e pelo consumo da água (Cothorn, 1987; UNSCEAR, 2010). A UNSCEAR estima uma dose anual média de exposição a radiação devido à inalação e ingestão de radionuclídeos de 1,55 mSv, que constitui cerca de 65% da dose anual total média de exposição a radiação. Dada a reconhecida correlação entre a exposição ao radão e o incremento na probabilidade de indução do cancro do pulmão, o gás foi classificado pela Organização Mundial de Saúde como um carcinógeno ambiental.

Em termos mundiais a concentração de radão e de radionuclídeos na água é extremamente variável. A concentração média de radão em águas superficiais é geralmente inferior a 4 Bq/L, contudo, as águas subterrâneas podem conter concentrações de radão bem mais elevadas, com alguma frequência superiores a 1000 Bq/L, dependendo do substrato envolvente e da circulação da água nos aquíferos (Nikolov *et al.*, 2014).

Para além das implicações na saúde humana o radão pode ser utilizado como um traçador natural em estudos hidrogeológicos, nomeadamente no estudo das interações entre o substrato cristalino e a água em circulação, bem como da relação entre o fluxo de águas superficiais e águas subterrâneas em aquíferos onde o transporte de água é função do caudal (Bertin e Bourg, 1994). Neste estudo pretende-se avaliar a utilização do radão como traçador natural em águas amostradas num fontanário localizado em Oliveira do Hospital (coordenadas GMS 40°21'36,59"N e 7°51'20,22"W) localmente designado por "Fontanário do Ameal 2" e destinada ao consumo humano.

2. ENQUADRAMENTO

Oliveira do Hospital localiza-se na região Centro de Portugal enquadra-se na unidade comumente designada por batólito das Beiras. Este é composto por granitos hercínicos de grão grosseiro, porfíroides, a fino, biotíticos, moscovíticos ou ainda moscovítico-biotíticos. Os granitos implantaram-se em metassedimentos do Supergrupo Dúrico-Beirão (SDB), também designado por Complexo Xisto-Grauváquico (Figura 1). Os metassedimentos encontram-se afetados por metamorfismo de contacto, dando origem a micaxistos e ao aparecimento local de

corneanas, encontrando-se, ambos, frequentemente alterados (Pereira *et al.*, 2010). Afloram ainda na região rochas filonianas (aplitos, pegmatitos, filões de quartzo, entre outros) encaixados, frequentemente, nos principais sistemas de falhas (com orientação N35°E, N55°E e N75°E) que controlam ainda o contacto entre as unidades graníticas e os metassedimentos (Figura 1).

A região insere-se na designada província uranífera das Beiras, onde ocorrem frequentes anomalias geoquímicas de urânio, maioritariamente de natureza secundária (ex. autunite, torbernite), e associadas a falhas, de maior ou menor expressão espacial. Estas fraturas controlam a circulação da água subterrânea, pelo que a maioria dos pontos de água na região se associa aos alinhamentos dominantes. No caso do fontenário em estudo, a circulação é sub-superficial e controlada estruturalmente por fraturas do sistema N65-75°E com *ca.* 200 m de zona de esmagamento e onde foram localmente identificados minerais de urânio (ex. torbernite).

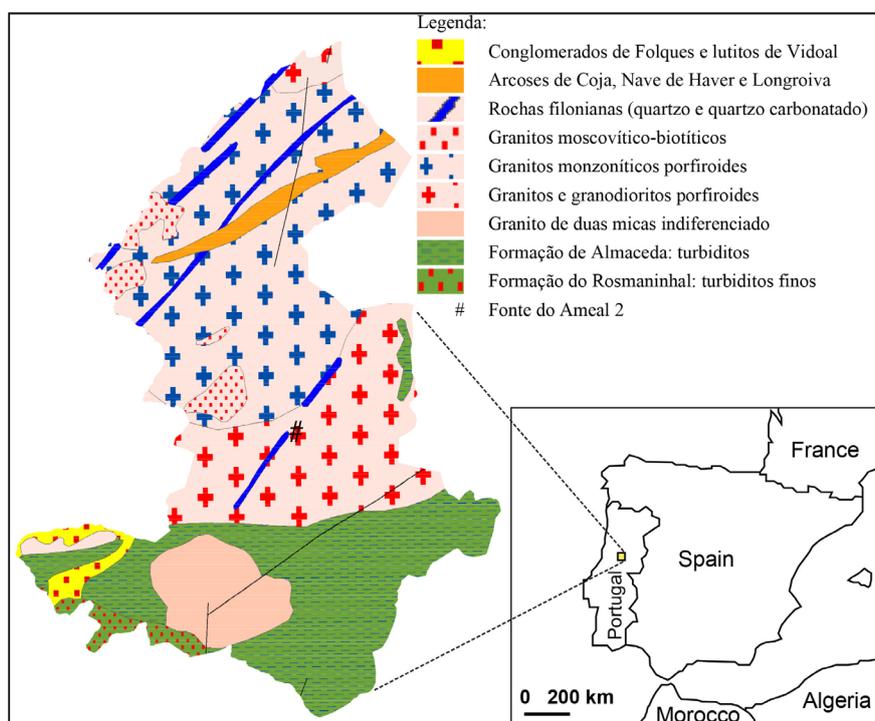


Figura 1. Enquadramento geológico do Concelho de Oliveira do Hospital com a localização do fontenário com a designação local de Fonte do Ameal 2, onde foram efetuadas as amostragens. Adaptado de LNEG (2010).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostragem foi efetuada em 10 campanhas, a primeira em maio de 2018 e a última em janeiro de 2019, com recurso a seringa, tendo sido efetuadas medições do caudal e temperatura da água *in loco* de acordo com o procedimento interno PT.LRN.009. A amostra colhida foi injetada diretamente num *vial* de modo a evitar a formação de bolhas de ar, no qual tinham sido previamente inseridos cerca de 10 mL de *cocktail* de cintilação BetaPlate (Perkin Elmer) não miscível em água. A contagem foi efetuada após ser atingido equilíbrio entre o radão e seus produtos de decaimento (3 h após introdução da amostra no vial) de acordo com a norma ISO 13164-4:2015 (Water quality – Radon-222 Part 4: Test method using two-phase liquid scintillation counting). A concentração de radão foi determinada através de cintilação líquida com a recurso ao equipamento Quantulus 1220 (Perkin Elmer) no Laboratório Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra, que cumpre com os critérios de acreditação para Laboratórios de Ensaio estabelecidos na NP EN ISO/IEC 17025 (Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração) de 2005 com o número de acreditação L0724. Foram colhidas amostras em duplicado, sendo os resultados médios diários de cada colheita.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados na Tabela 1. No intervalo temporal estudado, o caudal variou entre 4,6 a 10,0 L/min e a temperatura da água manteve-se relativamente estável, variando no estreito intervalo entre 15,7 e 17,0 °C. A concentração de radão tem uma variação muito significativa, entre um mínimo de 2345 Bq/L e um máximo de 6450 Bq/L. Os registos de caudal exibem os valores mais baixos nos meses de setembro e outubro, coincidindo com os valores mais altos de temperatura de água (Tabela 1, Figura 2). A concentração de radão na água apresenta os valores mais baixos entre outubro e novembro e os mais elevados registam-se entre maio e junho (Tabela 1, Figura 2); recorde-se que a primavera de 2018 foi particularmente chuvosa. Assim, e de acordo com os resultados disponíveis até ao momento, deteta-se uma relação positiva entre a concentração de radão na água e o caudal, correspondendo os valores mais baixos de radão aos menores caudais (Figura 2).

Assume-se, assim, que o menor volume de água no aquífero conduz a uma redução na taxa de dissolução do radão na água e/ou a uma separação do gás da fase líquida durante a circulação da água até ao ponto de tomada da amostra.

Tabela 1. Valores médios de radão (exceto quando indicado*) obtidos em cada campanha de amostragem indicando-se ainda os valores do caudal e da temperatura da água medidos na mesma altura (ND – não determinado).

Data	Caudal (L/min)	T (°C)	Média	Rn-222 (Bq/L)	
				Desvio-padrão	Coefficiente de variação (%)
21/05/18	10,0	ND	6450	16	2
05/06/18	9,1	15,7	5202	12	2
15/06/18	8,6	16,0	5748	61	11
29/06/18	8,0	15,9	6063*	ND	ND
14/09/18	ND	ND	4627*	ND	ND
27/09/18	4,9	17,0	3990	39	10
23/10/18	4,6	ND	2345	13	6
24/11/18	6,1	16,9	2691	24	9
08/01/19	7,4	16,5	3650	23	6
26/01/19	7,1	16,3	3541	7	2

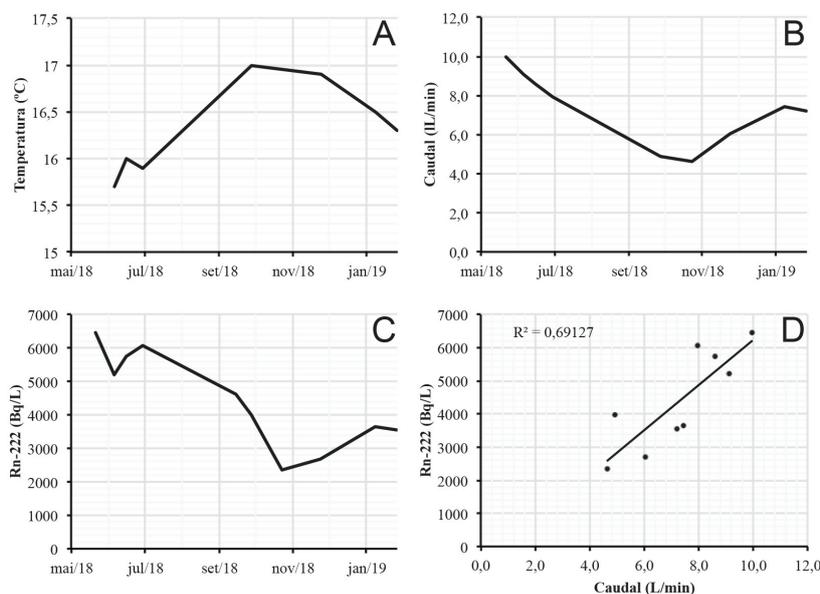


Figura 2. Séries temporais para A) temperatura (°C); B) caudal (L/min) e C) concentração de radão (Bq/L). D) relação entre a concentração de radão e caudal.

5. CONCLUSÃO

Foram efetuados estudos no ponto de água de um aquífero sub-superficial localizado em Oliveira de Hospital. Os resultados obtidos mostram que existe uma variação temporal significativa (superior a 50%) nas concentrações do gás radão na água subterrânea. Essa variação deverá estar relacionada com as flutuações no caudal medido na emergência pelo que a concentração de radão na água pode ser utilizada como um traçador a considerar nos modelos hidrogeológicos. Os resultados do presente trabalho levantam também questões sobre o protocolo de avaliação do gás radão para efeitos de controlo de qualidade da água para consumo humano quando a concentração de radão se encontra próxima do limite legalmente estabelecido no Decreto-Lei 152/2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro e técnico do Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, Projeto ReNATURE – Valorização dos Recursos Naturais Endógenos da Região Centro (Centro 2020, Centro-01-0145-FEDER-000007, Portugal) e Projeto SUSpENsE Sustainable built Environment under Natural Hazards and Extreme Events (Centro 2020, CENTRO-01-0145-FEDER-000006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertin, C., Bourg, A.C. (1994). Radon-222 and chloride as natural tracers of the infiltration of river water into an alluvial aquifer in which there is significant river/groundwater mixing. *Environmental science and technology*, 28 (5), 794-798.
- Cothorn, C.R. (1987). Estimating the health risks of radon in drinking water. *Journal-American Water Works Association*, 79 (4), 153-158.
- ISO 13164-4 (2015). *Water Quality – Radon-222 – Part 4. Test method using two-phase scintillation counting*. International Organization for Standardization, Geneva, 12 p.
- LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2010). *Carta Geológica de Portugal, na escala 1:500 000, folha n. 1, Lisboa*.
- Nikolov, J., Todorović, N., Bikit, I., Pantić, T.P., Forkapić, S., Mrđa, D., Bikit, K. (2014). Radon in thermal waters in South-East part of Serbia. *Radiation protection dosimetry*, 160 (1-3), 239-243.
- Pereira, A.J.S.C., Godinho, M.M., Neves, L.J.P.F. (2010). On the influence of faulting on small-scale soil-gas radon variability: a case study in the Iberian Uranium Province. *Journal of environmental radioactivity*, 101 (10), 875-882.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2010). *Source and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008, report to the general assembly with scientific annexes, I*, 463 p.

LEGISLAÇÃO

Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro.

APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA A CARACTERIZAÇÃO DA MASSA DE ÁGUA MINERAL DAS “CORRAS DO BUÇACO”, PENACOVA

Carla Sofia ROCHA¹, Fernando FIGUEIREDO², Ana Castilho LOPES³, Lídia CATARINO⁴, José Manuel AZEVEDO⁵

1. Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico e Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico carla.s.rocha@ist.utl.pt
2. Centro de Geociências da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., fpedro@dct.uc.pt
3. Centro de Geociências da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., amcastil@dct.uc.pt
4. Centro de Geociências da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., lidiagil@dct.uc.pt
5. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., jazevedo@dct.uc.pt

RESUMO

A área geográfica onde se localiza esta zona de água mineral situa-se próximo da povoação de Sazes do Lorvão, Penacova, no flanco SW do Sinclinal do Buçaco. Para estudar as formações geológicas em profundidade aplicou-se o método de resistividade eléctrica, com a realização de uma tomografia de resistividade eléctrica com orientação N75°W, com os dispositivos de medidas Dipolo-Dipolo, com espaçamentos de 10 m e de 20 m; e Wenner-Schlumberger com espaçamento de 20 m. A partir das análises das representações gráficas das secções, realizadas com os suportes informáticos *Res2DINV* 3.55 e *Surfer* 7.0, pode concluir-se que os locais mais indicados para a exploração de água mineral se encontram aproximadamente aos 215 m e aos 290 m do ponto de origem da secção SL, a 50 m e a 30 m de profundidade, respectivamente. A campanha de resistividade eléctrica foi complementada com uma campanha electromagnética, no domínio da frequência, com 3 perfis (SL1, SL2 e SL3), com orientação N75°W. Desta campanha pode-se inferir que o local mais propício para a possível abundância de água no subsolo poderá ocorrer na secção SL3, no espaço entre os 150 m e os 200 m do ponto de origem da secção, a partir dos 50 m de profundidade. Os principais alinhamentos estruturais presentes nesta área têm atitudes NE-SW e NNE-SSW e pendores subverticais para Este e Oeste.

Palavras-Chave: Água mineral; Corgas do Buçaco, Tomografia Resistividade Eléctrica; Prospecção Electromagnética.

1. INTRODUÇÃO

O estudo hidrogeológico do aquífero das Corgas no sinclinal do Buçaco incide na caracterização das massas de água do subsolo, e visam a definição de boas práticas para a captação e exploração da água mineral. A aplicação dos métodos de geofísica, como a resistividade eléctrica e a prospecção eletromagnética no domínio da frequência, contribuem para o melhor conhecimento da geologia do subsolo, o que vai proporcionar uma otimização e gestão da prospecção e exploração do aquífero em meio fracturado do sinclinal do Buçaco.

2. ENQUADRAMENTOS GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

A área em estudo das Corgas do Buçaco localiza-se no distrito de Coimbra, concelho de Penacova (Fig. 1). Pertence ao sinclinal geologicamente assimétrico do Buçaco, no domínio autóctone da Zona Centro Ibérica. O sinclinal inclui uma sequência paleozóica constituída por formações metamórficas ordovícicas e silúricas que assentam discordantemente sobre o Complexo Xisto-Grauváquico Ante Ordovícico (Câmbrico). O registo litológico das primeiras camadas corresponde ao Complexo Cristalofílico do Pré-Câmbrico superior constituído pelos xistos luzentes e argilosos com rara ocorrência de metagrauvaques (Figueiredo & Catarino, 2005). O Ordovícico inferior ocorre com a Formação de Sarnelha constituída por grauvaques vermelhos inferiores, e a Formação Quartzito Armoricano. Segue-se do Ordovícico médio a Formação de Cécemes, com as camadas de xisto. Embora estas primeiras litologias não

aflorem na área de investigação, são, no entanto, a base estratigráfica do sinclinal do Buçaco. Na área de estudo afloram camadas de xisto, camadas do Grés de Louredo da Formação do Louredo; e a Formação Porto Santa Ana, constituída pelas diabases do Buçaco (resultantes do vulcanismo básico) e os xistos diabásicos. Junto à passagem Ordovícico-Silúrico ocorrem num nível pelítico com fragmentos de aspeto tilóide (glaciogénico), xistos psamíticos com intercalações de carbonatitos (mármore) e metavulcanitos. O Silúrico ocorre com a Formação de Sazes, com as camadas de xistos com nódulos. A partir do Carbónico ocorrem sedimentos cuja sucessão litoestratigráfica está dividida em três unidades: a Unidade Inferior, de cor vermelha, com conglomerados, arenitos e lutitos; a Unidade Intermédia, argilítica a arenítica, de cor cinzenta, com níveis carbonosos e fósseis vegetais; e a Unidade Superior, formada por conglomerados grosseiros e intercalações de arenitos e argilitos (Domingos *et al.*, 1983; Wagner & Sousa, 1983; Gonçalves, 2001; citados em Valle Aguado *et al.*, 2013). O Cretácico é caracterizado pelas camadas do Grés do Buçaco terminando a sequência do sinclinal com os depósitos do Quaternário (Nery Delgado, 1908 *in* Costa, 1950; adaptado de Rocha, 2012).

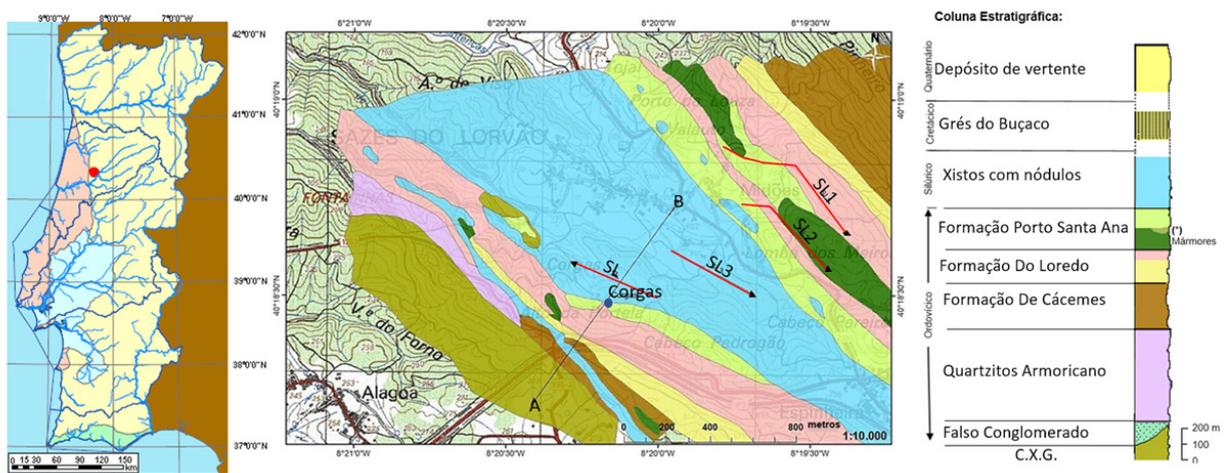


Fig. 1. Enquadramento do aquífero em estudo (elipsóide vermelho), no mapa de Unidades Hidrogeológicas (adaptado de Atlas da Água, 2009) e indicação do perfil SL da campanha de resistividade eléctrica e dos perfis SL1, SL2 e SL3 da campanha de prospecção electromagnética, assinalados na Carta Geológica (adaptado de Cavaco, 2001; Figueiredo & Catarino, 2005).

O aquífero das Corgas localiza-se no flanco SW do sinclinal Paleozóico do Buçaco-Penacova e desenvolve-se na Unidade Hidrogeológica do Maciço Antigo nos meta-vulcanitos básicos do Ordovícico, medianamente metamorfizados, intercalados com lenticulas carbonatadas (mármore). A água pertence à fácies bicarbonatada cálcico-magnesiânica, é considerada hipossalina e apresenta uma temperatura estável de 21 °C. A recarga é feita a partir da precipitação e facilitada pela fracturação que também favorece a circulação em profundidade (Azevedo *et al.*, 2008). O aquífero possui uma morfologia estratiforme subvertical e é do tipo fracturado. Apresenta um regime semi-confinado, uma transmissividade ligeiramente superior a 240 m²/d e um coeficiente de armazenamento compreendido entre 3x10⁻³ e 4x10⁻³. O escoamento faz-se na direcção NW-SE, com uma linha de partição de águas subterrâneas, a partir da qual o fluxo diverge para NW (Luso) e SE (Penacova) (Azevedo *et al.*, 2008). A Fonte das Corgas constitui um ponto de descarga natural na rede de drenagem hidrográfica da Ribeira de Sazes, que se orienta com o principal eixo da bacia do sinclinal (NW-SE) e recebe as águas de escorrência superficial dos flancos do sinclinal (Fig. 2).

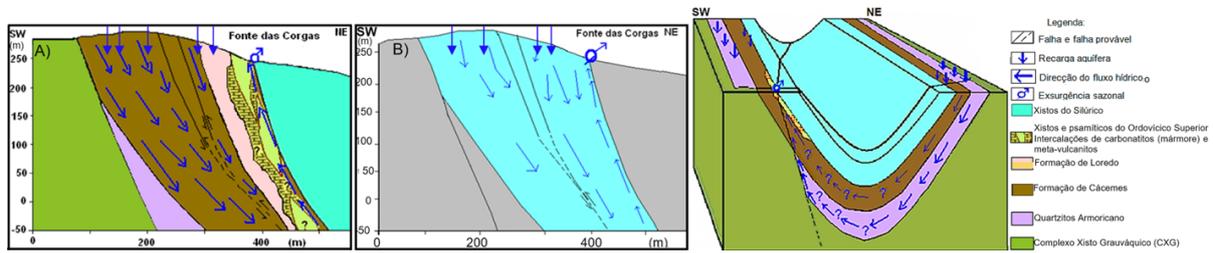


Fig. 2. A) Interpretação geológica e hidrodinâmica. B) Interpretação hidrogeológica com formação aquíclusa a cinzento e formação aquífera a azul. (Adaptado de Azevedo *et al.*, 2008). Modelo conceptual (adaptado de Azevedo *et al.*, 2008 in Rocha, 2012).

3. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Com a finalidade de identificar estruturas de descontinuidade, que são geralmente caracterizadas por variações de resistividade, desenvolveram-se trabalhos de campo que incidiram na realização de uma tomografia de resistividade eléctrica com os dispositivos de medida Dipolo-Dipolo (a de 10 m e a de 20 m) para identificação de estruturas verticais e Wenner-Schlumberger (a de 20 m), para identificação de estruturas horizontais (Rocha, 2012). Com o propósito de enquadrar o perfil SL na campanha de prospecção electromagnética, efectuada com os condutímetros *Geonics EM31 e EM34* (descrita em Félix, 2009), após o tratamento e processamento dos dados de resistividade eléctrica da secção SL, com o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo, com a de 10 m efectuou-se a transformação destes dados, de resistividade eléctrica para condutividade (Rocha, 2012) (Fig. 3).

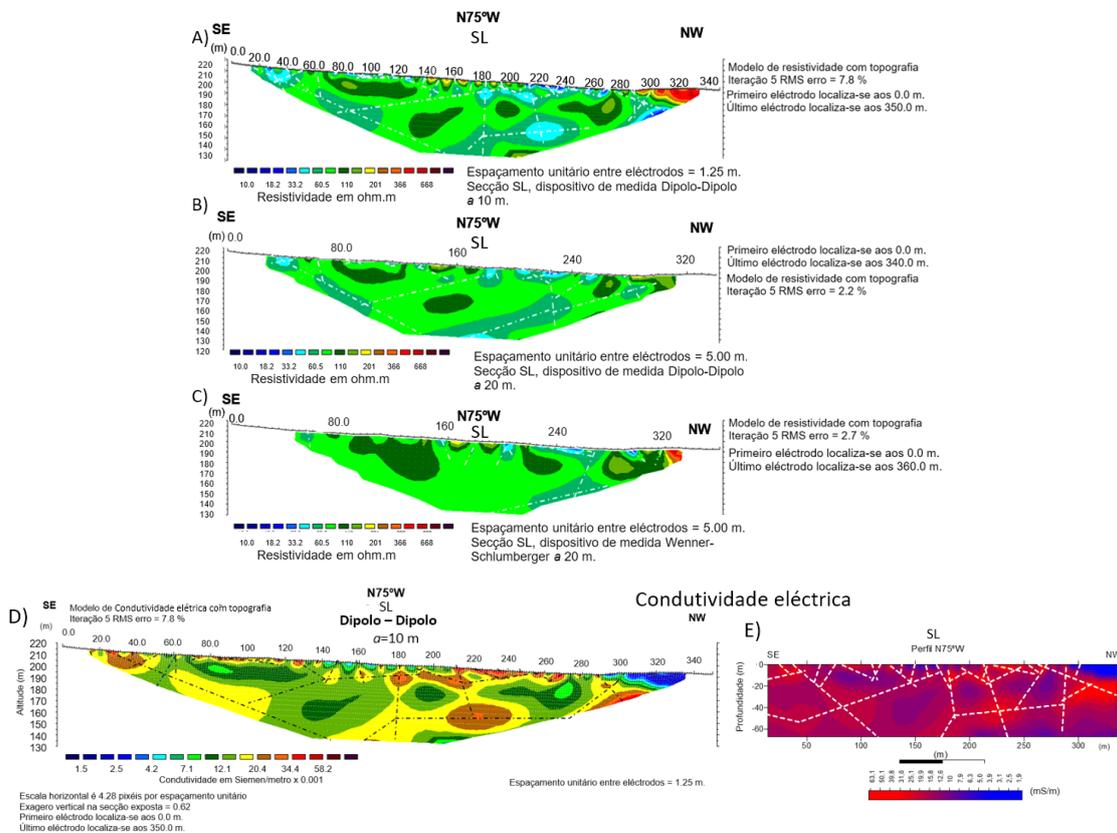


Fig. 3. Interpretação da secção de resistividade eléctrica SL para o dispositivo de medida Dipolo-Dipolo A) a 10 m B) a 20 m e C) Wenner-Schlumberger (a 20 m), com correcção topográfica, obtida com o suporte informático *Res2Dinv 3.55*. D) Secção de valores de condutividades electrica SL com correcção topográfica (suporte informático *Res2Dinv 3.55*); E) Imagem de condutividades processada com o suporte informático *Surfer 7.0*. A tracejado branco e preto evidenciam-se as possíveis descontinuidades por onde se poderá efectuar a percolação subterrânea da água, (Adaptado de Rocha, 2012)

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Da interpretação das secções obtidas nas campanhas de prospecção geofísica na área das Corgas (Fig. 3 e 4) poder-se-á depreender que os locais mais evidentes da possível presença da percolação das águas subterrâneas se encontrarão nas secções SL e SL3. Na secção SL ocorrem aos 215 m da origem, com 50 m de profundidade, com valores de condutividade de 27 mS/m, e aos 290 m da origem, com 30 m de profundidade, com valores de condutividade de 47,4 mS/m. Na secção SL3 a percolação das águas subterrâneas poderá ocorrer no intervalo dos 150 m aos 200 m da origem, com valores de condutividade de 26 mS/m com 50 m de profundidade, em que, anomalia em causa poderá ser limitada por duas possíveis estruturas tectónicas tendo a principal responsável uma possível direcção NNE-SSW com pendor sub-vertical para Este e a segunda descontinuidade uma possível direcção NE-SW com pendor para Oeste. As secções SL e SL3 que poderão ostentar um domínio subterrâneo de resistividade menos elevado e de condutividade mais elevado poderão exibir características geotermiais por as anomalias serem de origem profunda (Rocha, 2012).

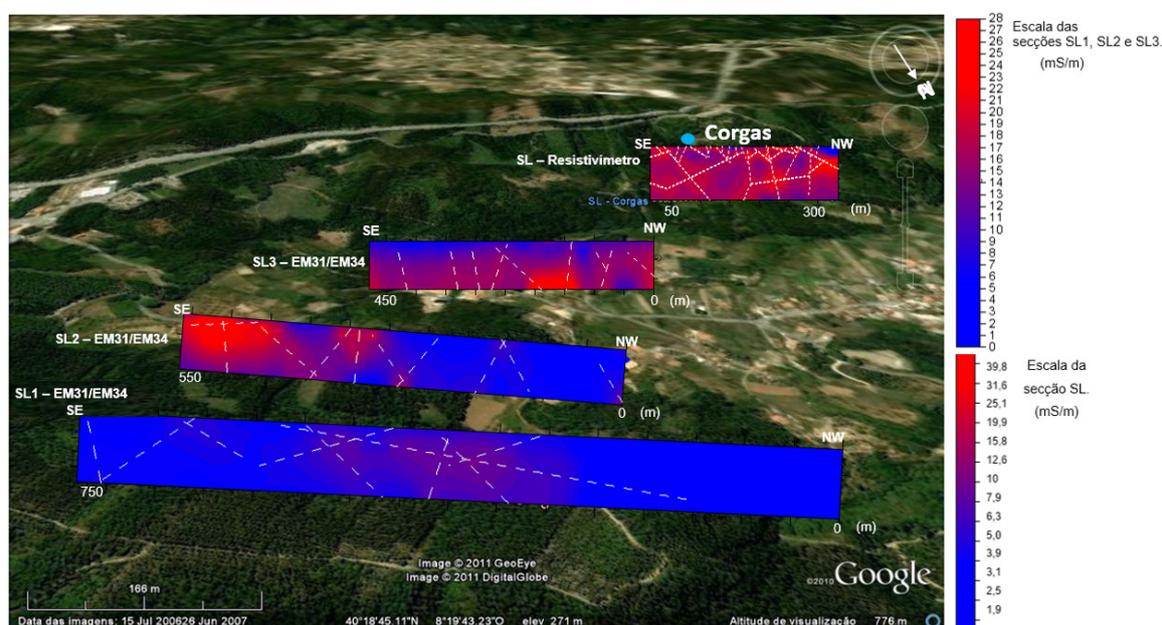


Fig. 4. Representação interpretativa e enquadramento das secções electromagnéticas, SL1, SL2 e SL3 e de condutividade SL adaptados à imagem do Google Earth correspondente da área de investigação (adaptado de Rocha, 2012).

Os métodos da resistividade eléctrica, com os dispositivos de medida Dipolo-Dipolo, com espaçamentos de 10 m e de 20 m e Wenner-Schlumberger, com espaçamento de 20 m, assim como, o método electromagnético, no domínio da frequência são adequados para a detecção de alinhamentos estruturais, preenchidos por minerais de argila e óxidos saturados devido à percolação das águas no subsolo. A contribuição da prospecção geofísica no estudo e caracterização geológico-estrutural é de primordial interesse, bem como a sua aplicação na área dos recursos geológicos e em particular nos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

À Sociedade para a Exploração da Fonte das Corgas S.A., Dr. Jorge Serafino e Sr. Joaquim Albano. Carla Rocha agradece a Bolsa de Investigação de Doutoramento, financiada por fundos Nacionais do MCTES, da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT SFRH/BD/105622/2015). O CERENA/IST-UL reconhece o apoio da FCT através do projecto FCT-UID/ECI/04028/2019 e o C2TN/IST-UL agradece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI / 04349/2013; o Centro de Geociências da UC reconhece o apoio da FCT através do projecto UID/MULTI/00073/2013.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azevedo JMM, Andrade AISS, Figueiredo FPO, Silva F, Serafino JFC (2008) *Modelo hidrogeológico conceptual para o aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão*. Actas do 9º Congresso da Água. 2 a 4 de Abril, Cascais, APRH, 2008, CD-ROM. 9 pp.
- Cavaco A (2001) *Estudo Hidrogeológico – Tarefa 1. Obra n.º 2666/0, relatório final ref.ª REF01020*. Relatório não publicado.
- Costa JCD (1950) *Notícia sobre uma Carta Geológica do Buçaco, de Nery Delgado*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. pp. 1-28.
- Félix FMF (2009) *Caracterização hidrogeológica e geofísica do flanco Este do sinclinal do Buçaco (Midões - Penacova)*. Tese de Mestrado em Eng. Geológica, não publicada. DCT, FCT, Universidade de Coimbra.
- Figueiredo FPO, Catarino LMG (2005) *Relatório dos trabalhos de prospecção geofísica realizados na Fonte das Corgas (Sazes do Lorvão - Penacova)*. Departamento de Ciências da Terra da FCTUC. Relatório interno para Soc. Exp. da Fonte das Corgas-Buçaco, S.A, 2005, pp.43.
- Rocha CSA (2012) *A resistividade eléctrica aplicada à caracterização hidrogeológica e geotécnica aquífero das Corgas, Sazes do Lorvão – Penacova. Implantação de aerogeradores, Brenha - Serra da Boa Viagem, Figueira da Foz*. Tese de Mestrado em Geociências, não publicada. DCT, FCT, Universidade de Coimbra.
- Valle Aguado B, Azevedo M, & Gonçalves R (2013) *A sedimentação carbonífera na Bacia do Buçaco (Centro de Portugal)*. In: R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha, J.C. Kullberg (Eds), *Geologia de Portugal*, vol. 1, Escolar Editora, 259-274.

QUALIDADE DA ÁGUA NA AGRICULTURA DE REGADIO: CASO DE ESTUDO NAS LEZÍRIAS DO RIO TEJO

David FERREIRA^{1*}, Manuela SIMÕES¹, Fernando REBOREDO¹, Fernanda PESSOA¹, Ana Sofia ALMEIDA²,
Rosário CARVALHO³, Fernando LIDON¹

1. Departamento de Ciências da Terra e GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica.

2. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), Estrada de Gil Vaz, Apartado 6, 7350 Elvas.

3. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa.

* Autor correspondente: David Jorge Ferreira, Departamento de Ciências da Terra, FCT - NOVA, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal. Email: djo.ferreira@campus.fct.unl.pt

RESUMO

O Vale do Tejo é historicamente uma região de excelência para a prática agrícola. O clima, o solo, a geomorfologia, a localização geográfica e a existência de água com qualidade favorecem o desenvolvimento de culturas irrigadas de arroz, tomate, milho, abóbora, entre outras. As águas de irrigação dos campos agrícolas são de origem superficial e subterrânea. Frequentemente, as águas superficiais são preferidas às subterrâneas devido à sua disponibilidade, facilidade de acesso e preço de adução. Contudo, apesar do rigoroso controlo de qualidade levado a cabo pelas entidades gestoras do recurso, a monitorização raramente se estende a iões menores e em traço presentes na água, passíveis de afectarem a qualidade dos produtos agrícolas e o solo. Em zonas próximas do estuário, porque a água superficial é salobra, muitas vezes esta é substituída por água subterrânea captada em furos profundos de pequeno diâmetro. A salinidade da água dos rios e dos canais de rega pode alcançar valores muito elevados, de modo que a sua condutividade pode registar valores na ordem de 20 mS/cm, com predominância de iões cloreto e sódio na sua composição. Para a água com semelhante composição é desaconselhável o uso agrícola, principalmente para a irrigação de culturas intolerantes ao sal, devido ao conseqüente perigo de salinização e alcalinização do solo e toxicidade das plantas. No presente estudo fez-se o levantamento da qualidade da água de irrigação nas Lezírias do Tejo, Sorraia e Almansor, a fim de avaliar a sua adequação à prática agrícola e à produção de arroz com elevada qualidade. Foram amostrados 59 pontos de água em furos, canais de rega, barragens e linhas de água para fins agrícolas e analisada a sua composição em iões maiores, menores e em traço, bem como condutividade, potencial de oxidação-redução e pH por métodos electroquímicos, fotométricos e cromatográficos.

Palavras-Chave: Qualidade da água, Rega, Agricultura de regadio, Vale do Tejo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho está a ser desenvolvido no âmbito da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/121892/2016 com financiamento FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, e do Projecto PDR2020-101-030671, GO – Fortificação de arroz em selénio, do Programa de Desenvolvimento Rural 2014-2020.

THE IMPACT OF ATMOSPHERIC TELECONNECTIONS ON THE COASTAL AQUIFERS OF RIA FORMOSA

M. Conceição NEVES^{1,2}, Luís COSTA³, Rui HUGMAN⁴, José Paulo MONTEIRO⁵

1. Universidade do Algarve, FCT, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, Portugal,

mneves@ualg.pt

2. Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal

3. Universidade do Algarve, Centro de Ciências e Tecnologias da Água/ CERIS, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, luisrdcosta@gmail.com

4. Umvoto Africa (Pty) Ltd/ Future Water Institute, University of Cape Town, Cape Town, South Africa,

rui.h@umvoto.com

5. Universidade do Algarve, Centro de Ciências e Tecnologias da Água/ CERIS, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, *jpmonte@ualg.pt*

ABSTRACT

The North Atlantic Oscillation (NAO) and East Atlantic (EA) patterns are the main drivers of the natural variability of groundwater recharge in Portugal. Local hydrogeological properties modulate the response of aquifers to climate signals and consequently there is a site dependent filtering of the natural oscillations caused by climate forcing. This study characterizes the spatio-temporal variability in groundwater levels arising from NAO and EA focusing on three aquifer systems (hydraulically connected) that discharge to the Ria Formosa coastal lagoon. The NAO is the leading mode of long-term variability accounting for 50% (on average) of the total variance in groundwater levels. This pattern accounts for non-stationary cycles of 6-10 year periods, which usually bound severe droughts. The EA pattern is associated with shorter-term oscillations of 2-4 year periods and its contribution to the total variance shows strong spatial heterogeneity. Thus, whereas the presence of NAO is ubiquitous, the influence of EA is smoothed out with distance from the main recharge area, which occurs in the northernmost more elevated areas. The frequencies related to the annual hydrological cycle are more prominent in the piezometers near the sea because of their shallow topography and their proximity to the discharge zone.

Key words: Climate, Ria-Formosa, Groundwater-levels, NAO, EA.

1. INTRODUCTION

Seesaw oscillations of atmospheric pressure dipoles, known as climate patterns or teleconnections, occur across the world with diverse spatial extents and various periodicities. One of these teleconnections is the North Atlantic Oscillation (NAO), which is the main driver of winter precipitation and consequently river flow and surface water storage in western Iberia (Trigo et al., 2004). Yet, other patterns of atmospheric circulation modulate the strength and location of the NAO dipole. Among them, the East Atlantic (EA) pattern is especially relevant since it affects the trajectory of the frontal systems and the transport of heat over northern Europe, especially during the winter season (Trigo et al., 2008). The influence of teleconnections on aquifers has been abundantly described in several parts of the world and has recently been addressed in Portugal (Neves et al., 2019). The results have shown that in the Algarve region NAO is the main leading mode of groundwater level variability, contributing to approximately 60% of the total variance, followed by EA, with a contribution of 20% on average. Positive and negative phases of NAO and EA not only have impacts on their own as they can interfere constructively or destructively. Couplings between EA and NAO mark abrupt transitions in mode behavior and coincide with hydrological extremes. Thus, piezometric levels across the country consistently attain maximum values during NAO-EA+ phases while minimum levels occur during NAO+EA- phases. As part of an effort to investigate the impact of NAO and EA on the coastal aquifer systems that discharge to Ria Formosa coastal lagoon (Fig. 1) the present work describes the main components of the long-term (30 years) groundwater level fluctuations for selected sites in this system. We analyse the groundwater level and monthly precipitation time series focusing on two coastal piezometers, which are potentially affected by sea level

height oscillations. Piezometer 607/484 is representative of a normal situation while piezometer 606/647 represents a site affected by excessive pumping and is associated to a possible landward shift in the position of the saltwater interface (Bear et al.,1999).

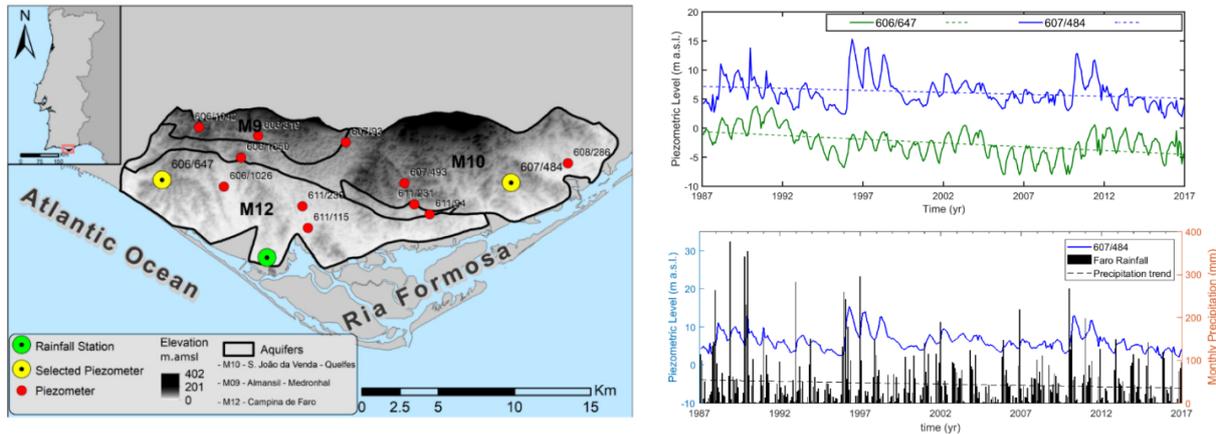


Fig. 1. Location of the aquifer systems connected to the Ria Formosa lagoon and of the piezometers selected for analysis. Monthly groundwater levels in aquifers M12 (piezometer 606/647) and M10 (607/484) and monthly precipitation at Faro meteorological station. Dashed lines show declining trends in both rainfall and groundwater levels (1987-2017).

2. DATASETS AND METHODS

Monthly groundwater levels span from January 1987 to December 2016 and were obtained from the Portuguese National System for Water Resources Information SNIRH *website* (SNIRH, 2018). Precipitation data was obtained from Faro airport weather stations operated by the Portuguese Meteorological and Ocean Office (IPMA, 2018). Wavelet principal component analysis (wPCA) has been employed to reveal the temporal structure and periodic components of the time series. This method is especially suited to detect non-stationary patterns with variations in both amplitude and frequency.

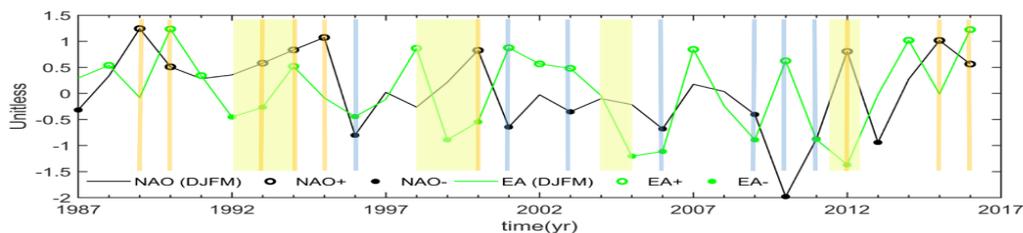


Fig. 2. Time series of the winter composites (December-March) of the NAO and EA climate indices obtained from NOAA (2018). Circle markers mark positive and negative phases of each pattern. Wide bars indicate major droughts and yellow (blue) lines mark anomalous dry (wet) winters associated with NAO+ (NAO-) phases.

The NAO and EA indices were retrieved from NOAA’s Climate Prediction Center (NOAA, 2018) at the monthly temporal resolution and aggregated for the winter months (DJFM). Positive and negative phases were defined by winter index values above the 3rd and below their 1st terciles, respectively (Fig. 2). The timings of several severe droughts identified by IPMA during the studied period (1992-1994, 1998-2000, 2004-2005 and 2011-2012) coincide with either NAO+ or EA- phases, and often with coupled NAO+EA- phases.

3. RESULTS

Fig. 3 shows the first four principal components of the precipitation and piezometric time series. The first principal component (PC1) accounts for most of the total variance and is associated to NAO. This component contributes to nearly 50% and 70% of the variance in groundwater level and precipitation, respectively. The aquifer response to rainfall depends on evapotranspiration, land cover and geologic factors such as topography, soil permeability and hydraulic connection with other aquifer systems, which affect infiltration and recharge. These factors attenuate climate signals and explain the relatively weaker impacts of NAO on piezometric levels than on precipitation.

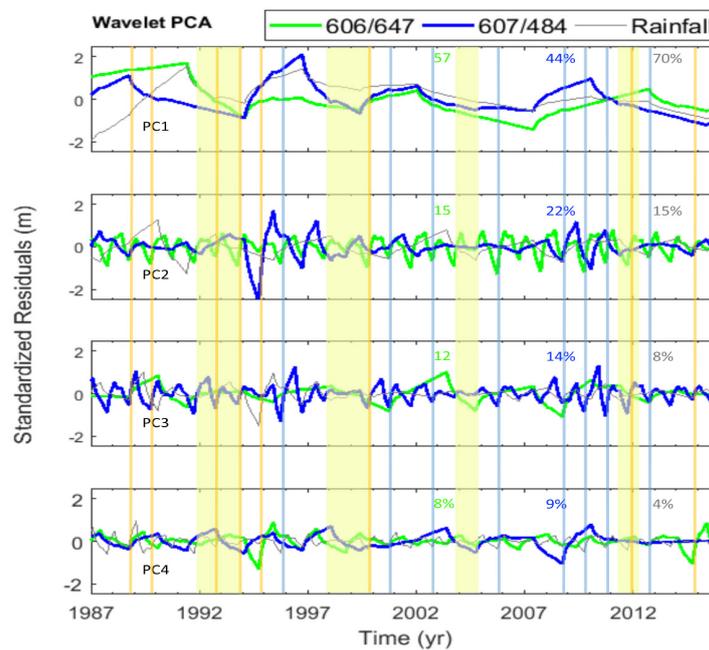


Fig. 3. First four principal components (PC1, PC2, PC3 and PC4) of groundwater levels determined from wavelet PCA and their correspondent contribution (in %) to the total variance (data for two piezometers displayed in green and blue). Principal components of precipitation (grey) and the corresponding amount of explained variance are also shown for comparison. Color bars as in Fig. 2.

The other principal components (PC2, PC3 and PC4) have shorter periods varying from 1 to 4 years. There is a great deal of swapping in the ranking of some of these components, which is a typical caveat of wPCA analysis when two consecutive components have similar values of explained variance. The annual cycle accounts for about 15% of the total variance of groundwater levels, while the remaining ones together explain about 25% of the total variance. Cycles with periods ranging from 2 to 4 years were previously recognized in the Querença-Silves aquifer and were attributed to the action of EA (Neves et al., 2019). The influence of the annual hydrological cycle is more important near the coast, being the second larger mode of variability in one of the piezometers (PC2 of 606/647). The proximity of the piezometers to the discharge area justifies the relatively strong influence of the annual rainfall cycle at these sites when compared to other aquifers (Neves et al., 2016).

4. CONCLUSIONS

In coastal sites, just as inland, NAO is the main contributor to the long-term variations of groundwater level. This climate pattern is associated to non-stationary cycles of 6-10 years, which seem to be limited by severe droughts. The NAO influence is ubiquitous and well preserved in groundwater levels when compared to precipitation, because of the buffering effect and low-pass filtering characteristics of aquifer systems. At higher frequencies, the annual

hydrological cycle and oscillations associated to EA, with peaks in the 2-4 year band, are the dominant causes of piezometric variations. When compared to other aquifers inland the EA modes of variability are smoothed out near the coast. The larger distance to the northernmost more elevated areas, where natural recharge is concentrated, can explain this observation. On the contrary, the annual cycle gains significance on sites close to the sea, although local hydrogeological characteristics modulate its relative importance.

ACKNOWLEDGMENTS

This publication is supported by FCT-project UID/GEO/50019/2019 - Instituto Dom Luiz. Luís Costa would like to acknowledge Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) for the PhD grant SFRH/BD/131568/2017.

REFERENCES

- Bear J, Cheng AH-D, Sorek S, et al.(eds.) (1999) Seawater Intrusion in Coastal Aquifers — Concepts, Methods and Practices, TATPM, 14, Springer
- Neves MC, Jerez S, Trigo R (2019) The response of piezometric levels in Portugal to NAO, EA, and SCAND climate patterns, J. Hydrology, 568, 1105-1117
- Neves MC, Costa L, Monteiro JP (2016) Climatic and geologic controls on the piezometer of the Querença-Silves karst aquifer, Algarve (Portugal). Hydrogeol. J. 24
- Trigo RM, Pozo-Vázquez D, Osborn TJ, Castro-Díez Y, Gámiz-Fortis S, Esteban-Parra MJ (2004) North Atlantic oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. Int. J. Climatol. 24, 925–944
- Trigo RM, Valente MA, Trigo IF, Miranda PMA, Ramos AM, Paredes D, García-Herrera R (2008) The impact of North Atlantic wind and cyclone trends on European precipitation and significant wave height in the Atlantic. Trends Dir. Clim. Res. Ann. N.Y Acad. Sci. 1146, 212–234

INTERNET REFERENCES

- NOAA, 2018. National Oceanic and Atmospheric Administration. < www.cpc.ncep.noaa.gov > Acesso em 15 de setembro de 2018
- IPMA, 2018. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <www.ipma.pt> Acesso em 15 de setembro de 2018
- SNIRH, 2018. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. <www.snirh.pt> Acesso em 15 de setembro de 2018

OFERTA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Frederico PEIXINHO¹, João DINIZ²

1. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Av. Pasteur, 404, URCA – Rio de Janeiro, frederico.peixinho@cprm.gov.br

2. Companhia de Recursos Minerais, Av. Pasteur, 404, URCA – Rio de Janeiro joão.diniz@cprm.gov.br

RESUMO

Este artigo aborda o problema recorrente de escassez de água no semiárido brasileiro aonde vivem 27 milhões de habitantes. Ao longo de tempo soluções foram adotadas, de forma isolada, para mitigar os efeitos decorrentes da seca. Este artigo apresenta um plano de ação estratégica em recursos hídricos para convivência com a seca no semiárido brasileiro. Apropria-se de dados, informações e estudos desenvolvidos nesta região no campo da geologia e hidrologia e formula soluções para ampliar a oferta de água no semiárido brasileiro.

Palavras-Chave: Oferta Hídrica no Semiárido Brasileiro

INTRODUÇÃO

Desde o descobrimento do Brasil o nordeste brasileiro convive com a seca. Trata-se de um fenômeno recorrente com ocorrência cíclica em intervalos de 26 anos. Os fatores causadores são por demais conhecidos. O regime hidrológico desta região (baixa e irregular pluviosidade, alta evapotranspiração etc.) associado as suas características geológicas (ocorrência em grande parte de rochas cristalinas) são os principais fatores do agravamento deste quadro com elevado impacto negativo no âmbito econômico e social. Nesta região habitam cerca de 27 milhões de pessoas que, atualmente, convive com um período de seca prolongado por cerca de sete anos e, segundo os especialistas dos Centros de Meteorologia, os problemas consequentes de grandes estiagens vão perdurar.

Historicamente o enfrentamento desta crise de água no nordeste tem contado, no âmbito de programas do Governo Federal, com a participação do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no segmento da hidrogeologia, através de vistoria técnica de perfuração de poços; de estruturação de base de dados de poços administrada pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) que contempla mais de 180 mil poços cadastrado da região Nordeste, utilizados para aumentar a oferta de água na região, através de implantação de sistema simplificados de água e/ou revitalização de poços; da implantação e operação de rede integrada de monitoramento de águas subterrâneas; da pesquisa e estudos hidrogeológicos em bacias sedimentares; do mapeamento das aluviões do Nordeste Oriental; e, recentemente, com o agravamento da crise hídrica, da implantação de rede estratégica de poços o semiárido brasileiro.

Diante deste quadro persistente e visando buscar uma solução sustentável, está sendo formulado um plano de ação estratégico para convivência com a seca, com base nas seguintes macro diretrizes:

1. MACRODIRETRIZES

1.1 BACIAS SEDIMENTARES – rede estratégica de poços profundos

Implantar Redes Estratégicas de Poços Profundos em bacias sedimentares baseado na necessidade da existência de fontes permanentes de fornecimento de água no semiárido com qualidade dentro dos limites de potabilidade. Estes poços, estrategicamente distribuídos, com vazões elevadas e boa qualidade da água, poderiam assegurar o abastecimento humano de uma parcela significativa da população, reduzindo custos com deslocamento e melhorando as condições de saúde pública no que se refere a doenças de veiculação hídrica. Os principais alvos são os grandes aquíferos das bacias sedimentares, responsáveis pelos maiores volumes de água subterrânea armazenada no Nordeste brasileiro. Desta forma procura-se, na medida do possível, posicionar as locações dos poços próximos as bordas

das bacias para que a água possa ser transportada para a região de rochas cristalinas, onde os efeitos da escassez se impõem com mais severidade.

1.2 ROCHAS CRISTALINAS – revitalização de poços

A maior parte da região semiárida nordestina é composta por rochas do embasamento cristalino, de má vocação hidrogeológica. A captação da água dá-se, predominantemente, através de poços tubulares, nesta região existe uma elevada concentração populacional. O banco de dados de poços administrado pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS permite identificar a situação dos poços existentes (paralisados, abandonados, etc), as vazões (baixa e inexpressivas) e qualidade da água (taxa de salinidade) sendo uma instumento valioso para definir poços passíveis de revitalização e implantação de sistema simplificado de abastecimento. Para promover a revitalização de poços são desenvolvidas as seguintes atividades: seleção dos municípios que serão beneficiados; identificação de demandas junto a Prefeituras e usuários de água subterrânea (definição das pessoas beneficiadas); cadastro dos poços e sistemas de abastecimento por água subterrânea identificando aqueles passíveis de serem recuperação e/ou revitalização (testar acesso ao interior do poço/efetuar teste de bombeamento e análise da água); elaboração do projeto executivo para recuperação e/ou revitalização, formalização do processo de responsabilidade para operação e manutenção do sistema de abastecimento, execução dos serviços de recuperação e/ou revitalização do poço/unidade de bombeamento/sistema de abastecimento, executar serviços de capacitação da população local visando a conservação, operação e manutenção dos equipamentos, conscientização ambiental e manejo hídrico.

1.3 DEPÓSITO ALUVIONARES – barragem subterrâneas

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desenvolveu o projeto “ *Caracterização Regional e Difusão Tecnológica para Uso Sustentável dos Recursos Hídricos das Aluviões do Semiárido Brasileiro*”.

O objetivo deste estudo foi promover uma visualização regional da ocorrência e potencialidade dos mananciais aluvionares na área de ocorrência de rochas cristalinas. Abrange praticamente todo o nordeste brasileiro, sendo estruturado em 137, folhas topográficas, escala 1:100.000, com cartografia aluvionar, indicando a existência e potencialidade de manchas aluvionares. Este produto é um importante instrumento de planejamento para o aproveitamento das águas subterrâneas nas aluviões no semiárido brasileiro. A implantação de barragens subterrâneas atende um público-alvo de pequenas comunidades e favorece a implantação da agricultura familiar. Neste sentido é importante a aplicação de tecnologias sociais para o sucesso deste empreendimento.

A barragem subterrânea se constitui em um barramento efetuado no leito aluvial de um rio ou riacho, abaixo da superfície, com a finalidade de deter o fluxo subterrâneo após cessado o escoamento superficial, originando, a montante do barramento, um reservatório subterrâneo que pode ser explotado por uma obra de captação.

1.4 Tecnologias alternativas

Para a ampliação da oferta hídrica no semiárido nordestino poder-se-ia adotar as seguintes soluções alternativas:

Tecnologia para perfuração direcionais

Criou-se o conceito de “*riacho fenda*” (Siqueira, 1963), segundo o qual, trechos retilíneos de drenagens coincidiriam com zonas fraturadas, fazendo com que as fendas fossem recarregadas pelos mesmos. “Cotovelos” e trechos retilíneos de drenagens seriam então locais favoráveis, identificáveis em fotografias aéreas e imagens de satélite, sendo corroborados quando subsidiados por intenso fraturamento nos afloramentos, compatível com a orientação da drenagem. Apesar da adoção deste critério para locação dos poços no cristalino, devido ao fato das fraturas no Nordeste serem preferencialmente subverticais e que os poços não podem ser locados dentro das calhas dos rios, nem sempre as captações interceptam essas fendas, resultando em inúmeros poços secos. A perfuração de poços direcionais poderia solucionar o problema.

Atualmente, com a tecnologia das perfurações direcionais, nas quais é possível se definir o alvo a atingir, mesmo que este não se encontre na mesma vertical da locação da sonda se pode, não apenas alcançar essas fraturas, como também tantas outras quanto existirem a distancias determinadas da locação.

Estimulação de Poços

Ações de estimulação de poços através de diversos meios, como explosivos, fraturamento hidráulico, acidificação, etc., têm sido conduzidas com grande sucesso em várias regiões do país e sob diversas condições geológicas e hidrogeológicas.

Dessalinização de Águas

Os programas que tratam da implantação de dessalinizadores no semiárido estabelecem, de um modo geral, limite de capacidade de produção dos poços. São poços com vazão a partir de 1.000 litros/hora e Sólidos Totais Dissolvidos superior a 1.000 mg/L (para abastecimento humano) e poços com vazão mínima de 3.000 litros/hora e salinidade máxima de 10.000 mg/L, no caso de implantação de sistemas produtivos, como piscicultura, irrigação, etc..

Constata-se, entretanto, uma quantidade enorme de dessalinizadores paralisados e/ou abandonados no sertão nordestino. Algumas questões são levantadas para explicar as razões pelas quais os mesmos não funcionam da forma desejada: a grande dispersão areal desses equipamentos, a pequena capacidade de produção aliada as dificuldades operacionais no seu manuseio, o alto custo das membranas e o descaso do gerenciamento local.

Considere-se o agrupamento de poços localizados a determinadas distâncias de um ponto aleatório qualquer (no exemplo acima 10 km). Se todos os poços bombearem para um reservatório único (independente da qualidade de suas águas), apenas um dessalinizador, de maior porte, produziria um volume muito maior de água tratada, facilitando a manutenção e operação dos equipamentos, a um custo menor e beneficiando uma população bastante superior àquela atendida pelos equipamentos individuais.

A solução ora proposta aumenta a capacidade de produção, concentrando em uma só central a produção de vários poços localizados em um raio de influência conveniente. Isto profissionaliza a operação e manutenção, transformando a central de dessalinização uma verdadeira fábrica de água potável.

1.5 SISTEMA AQUIFERO URUCUIA -

O aquífero Urucuia constitui uma verdadeira “Caixa d’água”, de extrema importância para a região nordeste do Brasil. Ocorre predominantemente no estado da Bahia, se estendendo também por Minas Gerais, Goiás, Tocantins e Piauí e Maranhão. Dentre os diversos usos de seus reservatórios destacam-se o atendimento ao pujante polo de agronegócios do oeste da Bahia e a demanda hídrica da bacia do médio São Francisco, na zona semiárida.

Em nível do conhecimento atual, admite-se que as águas liberadas por esse aquífero representem 30% de todo o volume hídrico afluyente à barragem de Sobradinho, nos períodos de secas.



A proposta, já em desenvolvimento pelo Serviço Serviço Geológico do Brasil, objetiva a realização de estudos hidrológicos integrados na área da *Bacia Sanfranciscana*, abrangendo parte das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Tocantins e Parnaíba de modo a quantificar toda a reserva hídrica, definindo o que de fato pode ser utilizado, bem como caracterizando a contribuição do aquífero ao rio São Francisco.

Desta forma deseja-se gerar e disponibilizar informações e conhecimentos sobre a ocorrência, potencialidades, circulação e utilização dos recursos hídricos totais da bacia do Urucuia, de forma a obter informações que permitam a elevação da disponibilidade hídrica total e a manutenção das vazões do rio São Francisco a partir de seu médio curso, garantindo o desenvolvimento hídrico sustentável e permitindo a implantação dos grandes projetos estruturantes na bacia.

2. CONCLUSÕES

O plano de ação para convivência com a seca deve contemplar de forma integrada as macro diretrizes apresentadas, priorizando a implantação da rede estratégica de poços nas bacias sedimentares; revitalizando e implantando sistema de abastecimento de água seguindo padrões técnicos para o melhor aproveitamento da água subterrânea; adotando instrumentos de tecnologia social na implantação de barragens subterrâneas; aplicando tecnologias alternativas de forma seletiva que resulte no melhor benefício/custo; e implementar o aproveitamento das águas subterrâneas da bacia do Urucuia, na perspectiva de integração das águas superficiais e subterrâneas. Todavia revela-se importante o estabelecimento de um sistema de gerenciamento de recursos articulado e integrado

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pela oportunidade de apresentar este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Gonçales, G, V, Giampá, C, E, Q (2006) Águas Subterrâneas e Poços Tubulares

Feitosa, A, C, F, Filho, J,M, Feitosa, C,E, Demétrio,J, G, A (2008) Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações

LEGISLAÇÃO

Lei no 9433/97 de 08 de janeiro de 1997

REFERÊNCIAS INTERNET

Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. Disponível em: <www.cprm.gov.br/.pt> Acesso em 6 de fevereiro de 2019

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DAS AREIAS, ARENITOS E CASCALHEIRAS DO LITORAL ALENTEJANO

José Paulo MONTEIRO¹, Luís COSTA², Rui HUGMAN³

1. Universidade do Algarve, Centro de Ciências e Tecnologias da Água/ CERIS, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, jpmonte@ualg.pt

2. Universidade do Algarve, Centro de Ciências e Tecnologias da Água/ CERIS, Campus de Gambelas, 8005-139 Faro, luisrdcosta@gmail.com

3. Umvoto Africa (Pty) Ltd/ Future Water Institute, University of Cape Town, Cape Town, South Africa, ru.h@umvoto.com

RESUMO

As areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo apenas foram estudadas até à actualidade sob o ponto de vista hidrogeológico na área em que ocorrem como uma das unidades hidroestratigráficas dos sistemas aquíferos de Sines e da Bacia de Alvalade, desempenhando em ambos os casos uma importante contribuição para o seu funcionamento. Apresenta-se neste trabalho uma caracterização hidrogeológica destas rochas numa área do litoral que se estende desde as proximidades da Barragem de Morgavel, a norte, até cerca de 5 km a sul do Cabo Sardão. Estão incluídas nesta área as povoações de Porto Covo, Almogrove e Cabo Sardão, entre outros aglomerados populacionais de menor dimensão, nos quais existe uma forte sazonalidade de ocupação humana associada ao turismo a que se junta a actividade agrícola, tradicional e intensiva, sendo estas as principais actividades económicas actuais na área em estudo. Trata-se, tanto quanto é do conhecimento dos autores, da primeira caracterização hidrogeológica regional efectuada para as formações em estudo numa área com cerca de 196 km².

Palavras-Chave: Plio-Plistocénico do litoral Alentejano; Caracterização Hidrogeológica; Modelo conceptual.

1. ENQUADRAMENTO GERAL DA ÁREA EM ESTUDO

Apesar das formações em estudo apenas terem sido estudadas até à actualidade sob o ponto de vista hidrogeológico enquanto unidades hidroestratigráficas dos sistemas aquíferos de Sines e da Bacia de Alvalade, estas rochas ocorrem igualmente numa área mais vasta, totalizando cerca de 687 km². Na área remanescente sobrepõem-se, na maior parte da sua extensão, à formação de Mira (Namuriano e Westfaliano) e, numa área mais restrita, a Sul, sobre a formação da Brejeira (Viseano e Namuriano), que correspondem às séries de “Flysch” (turbiditos) da Zona Sul Portuguesa. Na presente comunicação apresenta-se a caracterização hidrogeológica destas rochas, em duas áreas independentes, onde as águas subterrâneas são exploradas para rega, abastecimento público e uso doméstico em áreas rurais e urbanas. Uma destas áreas, com 94 km², estende-se desde as proximidades da Barragem de Morgavel, a Norte, até Vila Nova de Milfontes. A segunda área estudada, com cerca de 102 km² estende-se da margem Sul do Rio Mira até 5 km a sul do Cabo Sardão. Existe em ambas uma acentuada sazonalidade de ocupação humana associada ao turismo a que se junta a actividade agrícola tradicional e intensiva, esta última no Perímetro de Rega da Barragem do Mira, sendo estas as principais actividades económicas na área em estudo. O perímetro de Rega do Mira abrange praticamente toda a área em estudo a Sul do rio com o mesmo nome, sendo que na mancha para Norte a rega é exclusivamente suportada por extracções de águas subterrâneas associadas a captações que exploram quase exclusivamente, as formações em estudo, em poços de largo diâmetro e furos, normalmente com menos de 20 metros de profundidade. Trata-se pois, de um aquífero detrítico freático, pouco profundo, que tem, no entanto, enorme importância para a sustentação das necessidades de água dos residentes, turistas e também para o funcionamento dos charcos temporários mediterrânicos que são ecossistemas dependentes de área subterrânea que ocorrem nesta área (Salvador et al., 2016, Monteiro et al., 2017).

2. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E MODELO CONCEPTUAL

Em termos estratigráficos as formações em estudo são identificadas na Carta Geológica de Portugal de escala 1:500.000 (1992) e edições posteriores da cartografia geológica nacional a esta escala (e outras mais detalhadas),

como formações de transição entre o Terciário e o Quaternário (Plio-Plistocénico). É aliás notável o rigor da sua representação geométrica na Carta Geológica de Portugal de escala 1:500.000 do Século XIX (Delgado & Choffat, 1899).

O Facto das areias, arenitos e cascalheiras plio-pleistocénicas assentarem sobre as formações flysch do Baixo Alentejo do carbonífero, que constituem falésias junto à linha de costa, leva a que a descarga da água infiltrada nas formações em estudo (muito mais porosas e permeáveis do que as rochas paleozóicas subjacentes), apresentem descarga no limite geológico, quase sempre horizontal, ou sub-horizontal nas falésias, entre as rochas plio-pleistocénicas e paleozoicas. São testemunho deste facto as numerosas nascentes existentes neste limite geológico e hidrogeológico. Outra forma de descarga natural das areias arenitos e cascalheiras consiste na alimentação do caudal de base de ribeiras perpendiculares à linha de costa que, por vezes, chegam a dissecar as formações plio-pleistocénicas (o que justifica as reentrâncias observadas no limite oeste do aquífero) e constituem áreas de descarga de água subterrânea que desaguam directamente no mar.

A organização do escoamento e descarga das formações em estudo descritas representam-se esquematicamente de forma simplificada no modelo conceptual representado na Figura 1, onde se apresentam igualmente os volumes anuais médios de precipitação, recarga e área das formações em estudo, considerando uma taxa de infiltração correspondente a 20% da precipitação, por analogia com os valores apontados de balanço assumidos em trabalhos anteriores para o mesmo tipo de formações (Monteiro et al., 2008) e os valores de precipitação estimados por Nicolau (2002).

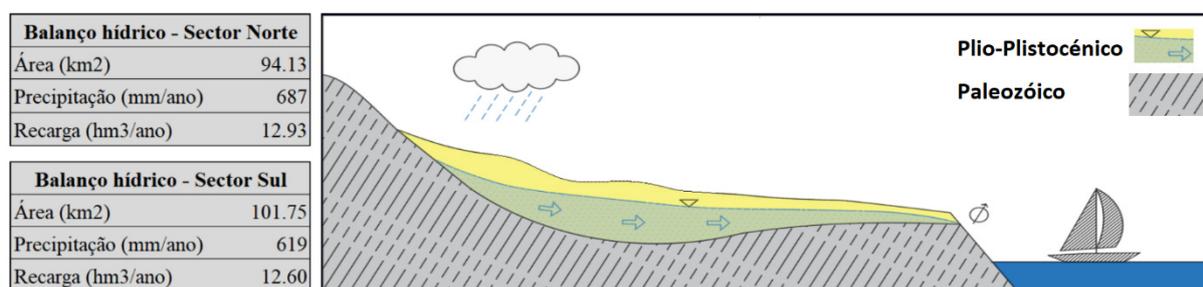


Fig. 1. Modelo conceptual proposto e balanço escoamento anual médio nas formações do Plio-Quaternário.

O modelo conceptual e valores de balanço apresentados não tomam em consideração a ocorrência de recarga das formações paleozóicas a partir de drenagem da água infiltrada nas formações plio-quaternárias em estudo o que constitui, porventura, a simplificação mais significativa para a construção de dois modelos em elementos finitos, com os quais se simulou o modelo conceptual proposto e cujos resultados se apresentam na Figura 2. As condições de fronteira definidas no modelo correspondem a potenciais impostos ao longo da falésia no contacto entre as areias, arenitos e cascalheiras do Plio-Pleistocénico e ao longo das secções finais dos cursos de água junto à linha de costa. Na Figura 2 é igualmente notório o contraste da densidade de drenagem dos cursos de água nas formações em estudo, muito inferior, ao que se verifica na área vizinha onde as rochas paleozóicas afloram, facto que ilustra o contraste dos valores de condutividade hidráulica, porosidade, e consequentemente de infiltração nestes diferentes tipos litológicos.

Para além dos trabalhos apresentados respeitantes à definição do modelo conceptual e balanço do sistema aquífero apresentados, existe nesta altura um acervo de informação adicional na área em estudo, resultante de dados obtidos ao longo dos últimos 5 anos em actividades de investigação desenvolvidos pelos autores da presente comunicação e outros investigadores da Universidade do Algarve que incluíram a construção de piezómetros, inventariação de pontos de água, medição de níveis com sonda manual, instalação de sensores de condutividade eléctrica, temperatura e nível em contínuo, medição de parâmetros físico-químicos in loco e colheita de águas subterrâneas, da chuva e superficiais para análise química.

Apesar de não ser possível na presente comunicação apresentar uma caracterização e interpretação de todos estes elementos é ainda relevante referir que as águas associadas às formações em estudo apresentam características hidroquímicas bem definidas, tratando-se de águas amostradas durante os anos hidrológicos de 2013/2014,

2014/2015, 2015/2016, 2016/2017 e 2017/18, tanto nos períodos húmidos como nos períodos secos, em pontos de água pré-existent e piezómetros especificamente perfurados para o efeito. Para além de terem sido amostradas e monitorizadas águas subterrâneas, e superficiais, foram também colhidas e analisadas águas da chuva. Pretende-se com estes dados, contribuir no futuro para interpretar uma relação entre a variabilidade espacial e temporal das águas subterrâneas e superficiais da área em estudo.

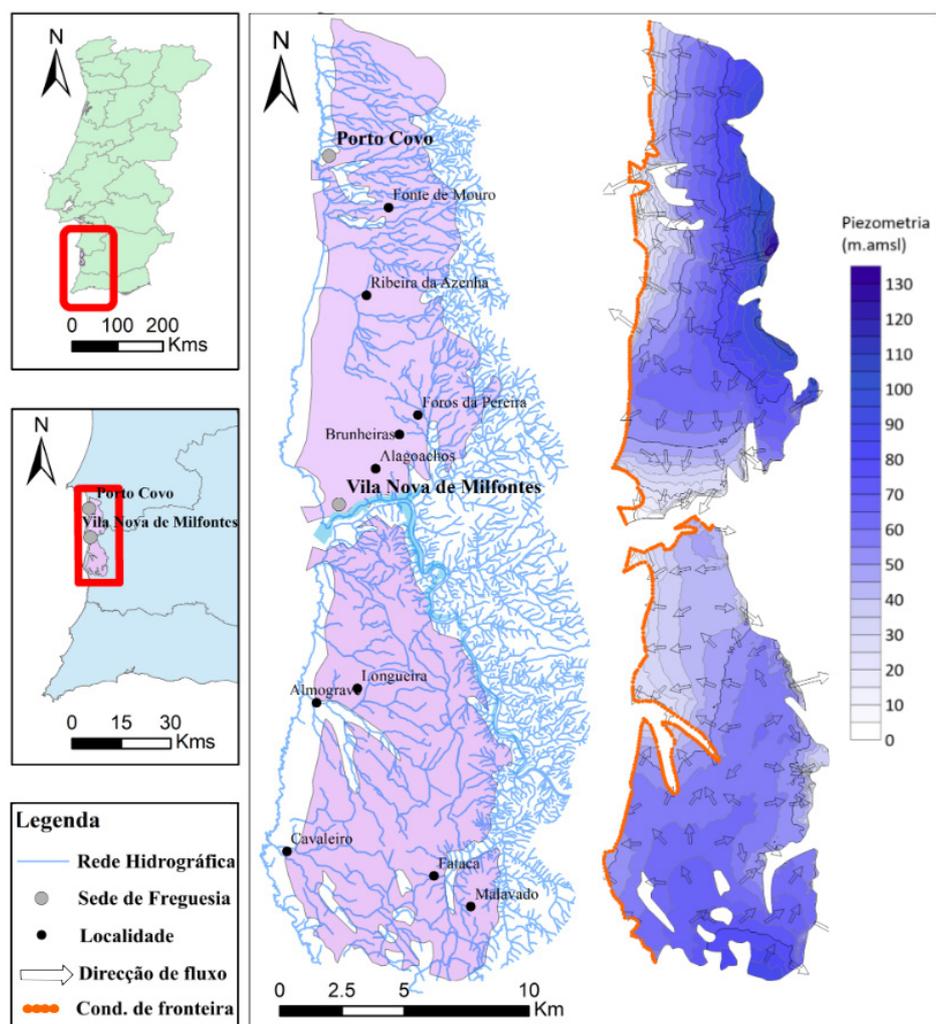


Fig. 2. Condições de fronteira e sentidos de escoamento obtidos a partir do modelo conceptual e numérico.

Ao longo deste período foram efectuadas mais de 130 colheitas de água em 67 pontos de amostragem, tendo as amostras sido analisadas em laboratório, tendo igualmente sido amostrados parâmetros físico-químicos in situ (temperatura, pH, condutividade eléctrica, oxigénio e turbidez). Os resultados obtidos mostram que quase todas as águas apresentam mineralização total inferior a 1000 mg/L e fácies hidroquímica cloretada sódica, não só as águas subterrâneas amostradas, mas igualmente nos numerosos charcos temporários existentes nesta área, cujo período de encharcamento é fortemente dependente da subida dos níveis freáticos das formações em estudo, quando estes ultrapassam a cota mínima destes ecossistemas dependentes de água subterrânea (Salvador et al. 2016).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização hidrogeológica do sector das areias, arenitos e cascalheiras do litoral do Baixo Alentejo apresentada na presente comunicação tem uma área que totaliza 196km², para a qual se estima um valor de recarga anual média

de cerca de 26 hm³. Os dados hidroquímicos existentes permitem identificar uma tipologia de águas com um denominador comum bem marcado. Considera-se, por consequência, que os elementos existentes devem ser tidos em conta para que a área em estudo na presente comunicação seja tida em conta para a planificação das “Massas de Água Subterrâneas” relevantes para a gestão de recursos hídricos que deve ser feita para cumprir os objectivos da “Directiva Quadro da Água” que devem ser tidos em conta por todos os membros da União Europeia a este respeito. Na actualidade a área em estudo é formalmente considerada como pertencente a “massas de água subterrânea indiferenciadas” (denominadas Zona Sul Portuguesa da Bacia do Sado e Zona Sul Portuguesa da Bacia do Mira) o que é manifestamente inadequado.

A existência de um elevado número de ocorrências dos charcos temporários mediterrânicos existentes nesta área (habitat prioritário 3170 no Anexo I da “Directiva Comunitária dos Habitats” - Council Directive 92/43/CEE), cujo balanço hídrico é fortemente dependente de águas subterrâneas, esteve na origem dos meios postos à disposição para a realização dos trabalhos de campo e laboratórios referidos na presente comunicação, tendo os trabalhos realizados permitido constatar que a importância dos recursos hídricos subterrâneos associados às formações em estudo apresentam uma importância regional muito maior da que até hoje lhes foi atribuída na hidrogeologia de Portugal.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Programa LIFE o financiamento do Projecto Conservação de Charcos Temporários na Costa Sudoeste de Portugal (2014 – 2018). LIFE12 NAT/PT/000997 “LIFE CHARCOS”. Os autores da presente comunicação agradecem ainda aos especialistas em Biologia e Ecologia e a todas as entidades envolvidas neste projecto a sua contribuição para o estudo das águas subterrâneas na área em estudo. Finalmente, Luís Costa agradece à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pela bolsa de doutoramento SFRH/BD/131568/2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carta Geológica de Portugal 1:500.000 (1992), Serviços Geológicos de Portugal, Ministério de Industria e Energia, Secretaria de Estado da Industria, Direcção Geral de Geologia e Minas.
- Delgado, J.F.N; Choffat, P. (1899) Carta Geológica de Portugal. Escala 1:500.000. Direcção dos Trabalhos Geológicos.
- Monteiro, J.P.; Hugman, R.; Costa, L.; Salvador, N. (2017) Controlo Hidrogeológico de Charcos Temporários Mediterrânicos - Ecossistemas Dependentes de Águas Subterrâneas na Costa Vicentina. 11.º Seminário sobre Águas Subterrâneas. Porto, 2 e 3 de março de 2017. ISEP. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos APRH. pp 103-106.
- Monteiro, J. P.; Chambel, A.; Martins, J. (2008) Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal). International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey. p.38 (abstract) and doc. elect. CD-Rom 9pp
- Nicolau, R (2002). Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação- Uma Aplicação a Portugal Continental. Diss. para obt. do grau de Doutor. Fac. Ciênc. Tecn. Univ. Nova de Lisboa. Lisboa. 356pp.
- Salvador, N.; Monteiro, J.P.; Silva, M.M.; Carvalho, M.R. (2016) Hydrochemistry of Mediterranean Temporary Ponds and associated groundwater in SW Portugal. Procedia Earth and Planetary Science. Elsevier. 15th Water-Rock Interaction International Symposium, WRI-15. 4pp

MODELOS DE PREVISÃO DO TEMPO DE RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE DA MASSA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ZONA VULNERÁVEL DE ESTARREJA - MURTOSA

Joel ZEFERINO¹, M. Rosário CARVALHO¹, M. Catarina SILVA¹, A. Rita LOPES², Rosário JESUS², Sofia BATISTA²

1. Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências & IDL, Universidade de Lisboa; Lisboa, Portugal; jzfeferino@fc.ul.pt, mdrcarvalho@fc.ul.pt, csilva@fc.ul.pt

2. APA – Agência Portuguesa do Ambiente; Lisboa, Portugal; ana.rita@apambiente.pt, rosarioj@apambiente.pt, sofia.batista@apambiente.pt

RESUMO

No âmbito da Diretiva Nitratos, as Zonas Vulneráveis são entendidas como áreas que drenam para águas poluídas ou suscetíveis de o virem a ser por nitratos de origem agrícola, caso não sejam tomadas medidas tendentes a contrariar esta evolução. A avaliação da efetividade das medidas aplicadas, entenda-se os Programas de Ação, só pode ser realizada através da monitorização da qualidade da água, no entanto, esta não é suficiente para prever o tempo de recuperação da massa de água. Neste contexto, foram utilizados métodos numéricos, simulações do transporte de massa com recurso ao software FEFLOW, para a previsão do tempo necessário para o cumprimento dos objetivos de qualidade para os nitratos ($\text{NO}_3 < 50 \text{ mg/L}$). Este exercício teve como objeto de estudo a Zona Vulnerável de Estarreja - Murtosa, que se situa no distrito de Aveiro, na massa de água subterrânea do Quaternário de Aveiro. As simulações numéricas projetam para um período mínimo de recuperação de 10 anos, considerando a situação de referência de 2016 e a ausência, sobre a zona vulnerável, de carga azotada resultante de agricultura e pecuária. Contudo, o estado químico da massa de água agravou substancialmente em 2017, registando máximos históricos superiores a 200 mg/L, não sendo possível estabelecer, para este caso, o prazo necessário para se cumprir os objetivos ambientais, dentro do horizonte temporal (2040) definido para a simulação numérica.

Palavras-Chave: Nitratos; Zona Vulnerável; Modelos de previsão; Modelação numérica; FEFLOW.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O presente artigo encontra-se enquadrado num estudo mais vasto, realizado para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.), que visa prevêr quando se atingem os objetivos ambientais para cada uma das nove zonas vulneráveis designadas em Portugal continental, tendo em conta as cargas azotadas provenientes do sector agrícola (agricultura e pecuária). As zonas vulneráveis (ZV), de acordo com os critérios definidos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de setembro e alterado pelo Decreto-Lei n.º 68/99 de 11 de março, delimitam zonas com as águas poluídas por nitratos de origem agrícola e as águas suscetíveis de o virem a ser, bem como as áreas que drenam para aquelas águas. De acordo com o último relatório quadrienal, de 2012-2015 (DGADR-APA, 2016), em Portugal continental estão delimitadas e publicadas 9 zonas vulneráveis, entre as quais a ZV de Estarreja - Murtosa. Nas zonas vulneráveis importa efetuar uma avaliação periódica da evolução da qualidade da água subterrânea, assim como a previsão da sua melhoria decorrente da aplicação das medidas definidas no Programa de Ação estabelecido. Um dos processos de avaliação da efetividade da aplicação do Programa de Ação é através da monitorização da qualidade da água, no entanto, não é suficiente para a previsão do tempo necessário para as massas de água subterrâneas das zonas vulneráveis atingirem a qualidade definida pela Diretiva Quadro da Água (DQA, 2000). Neste contexto, pretende-se efetuar a previsão do tempo necessário para que a massa de água na ZV Estarreja - Murtosa cumpra os objetivos de qualidade para o ião nitrato ($< 50 \text{ mg/L}$), apoiada na construção de modelos numéricos de fluxo subterrâneo e de transporte de massa.

2. ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

A ZV de Estarreja - Murtosa situa-se na região centro do Baixo Vouga, em Portugal Continental, ocupando uma

área de 81,37 km², que se divide por dois concelhos do distrito de Aveiro, Estarreja e Murtosa (Figura 1). Está integrada na Região Hidrográfica do Vouga/Mondego/Lis (RH4A) e delimitada sobre a massa de água subterrânea do Quaternário de Aveiro (APA, 2016). A massa de água subterrânea desenvolve-se em formações de natureza detritica que, segundo Almeida *et al.* (2000), podem ser individualizadas em 3 unidades: terraços fluviais e praias antigas de idade plistocénica; sequência grano descendente cascalhenta (formação base do Quaternário), quase sempre coberta por camadas de lodos orgânicos; manto dunar e aluviões modernos. Ordens (2007) propôs um modelo conceptual para a massa de água do Quaternário de Aveiro, para a região de Estarreja, composto por 3 unidades com características hidráulicas distintas (Figura 1). O sistema é constituído por um aquífero superior freático e um aquífero semi-confinado a confinado (base do Quaternário), separados por um aquífero. Pertencem ao aquífero superior duas unidades, sendo que a primeira formada pelos depósitos pliocénicos e a segunda pelas dunas e aluviões modernos.

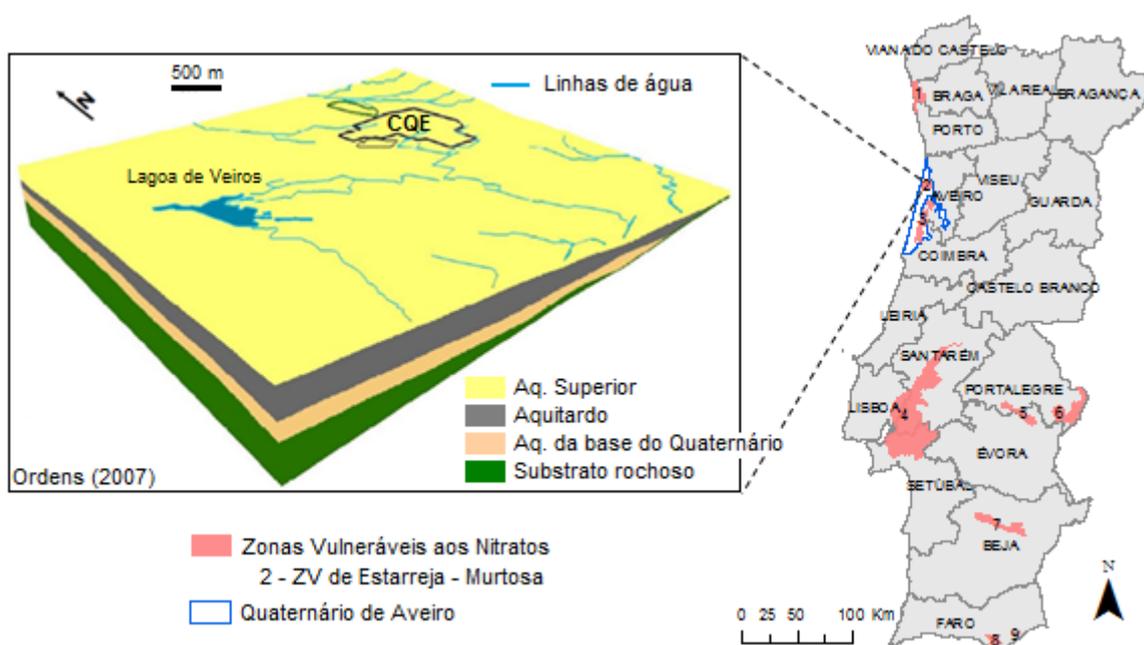


Fig. 1. Enquadramento geográfico da ZV de Estarreja - Murtosa e modelo conceptual hidrogeológico da área de estudo (adaptado de Ordens, 2007)

3. METODOLOGIA ADOPTADA

O software seleccionado para produzir os modelos numéricos de fluxo e transporte de massa foi o FEFLOW (Diersch, 2013). Trata-se de sofisticada ferramenta de simulação tridimensional (3D) e bidimensional (2D) do fluxo subterrâneo e transporte de massa nas águas subterrâneas, em condições de saturação e de não-saturação (zona vadosa). Na calibração do modelo foi utilizado o FEPEST (DHI), uma adaptação do software PEST, com uma interface de maior utilidade quando se processa a calibração de modelos do FEFLOW

A primeira etapa consistiu em desenvolver um modelo de escoamento subterrâneo que representasse a situação de referência da piezometria. O perímetro da ZV de Estarreja - Murtosa foi ajustado às condições hidrogeológicas locais (Ria de Aveiro e Quaternário de Aveiro) e o aquífero superior do sistema (freático) foi modelado, em 3D e regime estacionário. A parametrização inicial foi efetuada através da recolha de dados bibliográficos para a condutividade hidráulica, porosidade (Peixinho de Cristo, 1985; Ordens, 2007) e recarga/consumos (APA, 2016), posteriormente calibrados com recurso à ferramenta FePEST e a 8 pontos de observação da rede de quantidade do SNIRH. As condições iniciais do modelo de transporte de massa foram obtidas pela interpolação das concentrações médias anuais de NO₃, registadas em 10 estações de monitorização. O modelo de transporte correu em regime transiente, para o horizonte temporal de 2040.

Foram testados diversos cenários de cargas poluentes, entre os quais se destaca “Input0”, tal como o nome indica sem cargas introduzidas na massa de água subterrânea, e “agricultura + pecuária”. Neste último foram aplicadas as cargas azotadas provenientes dos setores agrícola e pecuário, identificadas nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica 2º ciclo (APA, 2016). O contributo do setor agrícola foi dividido em: culturas temporárias (5,0 kg/ha/ano); culturas permanentes (2,7 kg/ha/ano), pastagens permanentes (1,5 kg/ha/ano), áreas agrícolas heterogêneas (3,85 kg/ha/ano) e florestas (2,0 kg/ha/ano). As cargas de atividade pecuária inventariadas nos concelhos de Estarreja (45.915 kg/ano) e Murtosa (48.265 kg/ano) foram distribuídas uniformemente pelas áreas agroflorestais da área de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de fluxo subterrâneo para a zona vulnerável é bastante simples com um único sentido de escoamento em direção à Ria de Aveiro, partindo o fluxo de uma zona central mais elevada em relação à periferia (Figura 2). O nível freático está muito próximo da superfície, variando entre os 14,1 m, nas areias e dunas que ocupam as zonas mais elevadas, e os 3 m nas aluviões modernas e terraços fluviais.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da previsão pela modelação numérica dos dois cenários de transporte de massa simulados, tendo como situação de referência as concentrações de NO₃ de 2016 e de 2017.

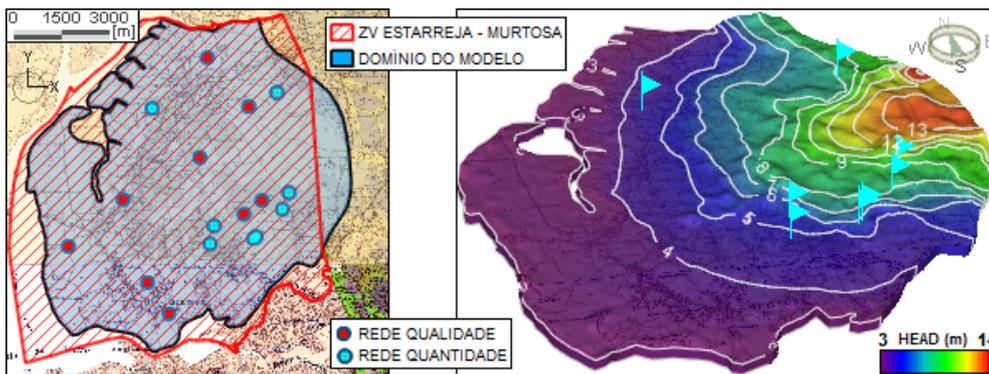


Fig.2. Modelo numérico de escoamento subterrâneo da área de estudo da ZV de Estarreja - Murtosa.

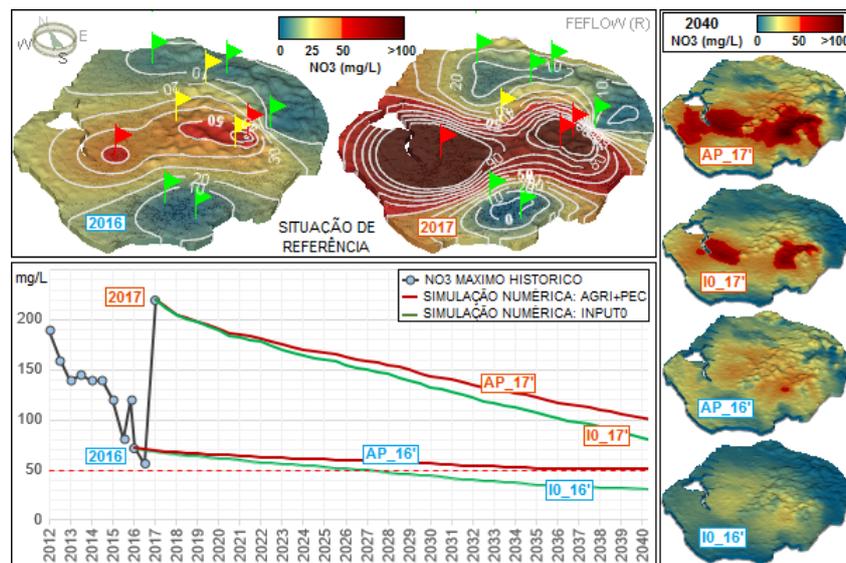


Fig.3. Em cima, situação de referência da concentração em NO₃ para os anos 2016 e 2017; à direita simulações do transporte de NO₃, com “Input 0” (I0) e cargas “Agricultura+Pecuária” (AP), tendo por condição inicial os anos 2016 e 2017; em baixo, resultados obtidos por métodos numéricos na previsão do cumprimento dos objetivos de qualidade (NO₃ < 50 mg/L).

O cenário de “Input 0”, tendo como referência o ano de 2017, aponta para a concentração máxima de NO_3 no final da simulação de 81,15 mg/L, sendo identificadas duas zonas de dimensão considerável com valores acima de 50 mg/L. No cenário “Agricultura+Pecuária” a concentração máxima de NO_3 , no final da simulação, atinge 100,72 mg/L e são reduzidas as áreas onde a concentração é inferior a 10 mg/L. Projeta-se para 2040 uma área contaminada entre 7,7 e 22,3 % do domínio do modelo, e entre 6,7 e 19,4 % da área da ZV, dependendo das cargas aplicadas em cada cenário. Verifica-se que as condições iniciais do modelo de transporte de massa são fundamentais e condicionam fortemente as previsões dos modelos numéricos.

5. CONCLUSÕES

O documento técnico da DQA (WFD-GW, 2001) propõe uma análise estatística para avaliação das tendências temporais utilizando técnicas de agregação de dados, de tendência e de inversão de tendência. Estes métodos estatísticos não refletem, de forma adequada, a previsão a longo prazo, uma vez que se trata de uma análise pontual, não tendo em consideração a dispersão do contaminante, dependente das características da massa de água subterrânea. Considera-se que se deve privilegiar os métodos numéricos para se efetuar a previsão do tempo necessário para que a massa de água subterrânea da ZV de Estarreja - Murtosa possa atingir os objetivos ambientais. Atendendo aos resultados obtidos pela modelação numérica, para os dois cenários modelados com carga azotada distinta (“input 0” e “agricultura + pecuária”) e considerando como condição inicial a distribuição espacial do ião nitrato em 2017, não se prevê a recuperação da qualidade da massa de água até 2040. Contudo, salienta-se a tendência de descida dos valores máximos, indiciando uma boa capacidade de recuperação da massa de água subterrânea, em virtude das suas propriedades hidráulicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FCT o financiamento através do projeto UID/GEO/50019/2013 - Instituto Dom Luiz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C., Mendonça, J.J.L., Jesus, M.R., Gomes, A.J. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Centro de Geologia e Instituto da Água, dezembro 2000, 661 pp.
- APA (2016) Plano de Gestão de Região Hidrográfica 2016/2021 da Região Hidrográfica do Vouga, Mondego e Lis (RH4). ARH Centro. Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério do Ambiente.
- DGADR-APA (2016). Poluição Provocada por Nitratos de Origem Agrícola - Diretiva 91/676/CEE, de 12 de dezembro - Relatório 2012-2015. Agência Portuguesa do Ambiente e Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. 249 pp.
- Diersch, H.J. (2013) FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Ordens, C. (2007) Estudo da contaminação do aquífero superior na região de Estarreja. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Geociências - Ambiente e Ordenamento do Território. Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra. 150 pp.
- Peixinho de Cristo, F. (1985) Estudo Hidrogeológico do Sistema Aquífero do Baixo Vouga. Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Divisão de Geohidrologia. Coimbra. 57 pp.
- WFD-GW (2001). Final Report “The EU Water Framework Directive: statistical aspects of the identification of groundwater pollution trends and aggregation of monitoring results”. www.wfdgw.net. December 2001.

LEGISLAÇÃO

- DQA (2000). Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000, que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água.
- Decreto-Lei n.º 235/97. Diário da República n.º 203/1997, Série I-A de 1997-09-03. Ministério do Ambiente.
- Decreto-Lei n.º 68/99. Diário da República n.º 59/1999, Série I-A de 1999-03-11. Ministério do Ambiente.

REFERÊNCIAS INTERNET

- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://snirh.apambiente.pt/>> Acesso à base de dados da rede de qualidade das águas subterrâneas entre 2016 e 2017.

APLICAÇÃO DA PROSPEÇÃO GEOFÍSICA PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVAS CAPTAÇÕES DE ÁGUA EM ALAGOA – ARGANIL

Fernando FIGUEIREDO¹, Lídia CATARINO², Fábio ANTUNES³

1. Centro de Geociências da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., fpedro@dct.uc.pt
2. Centro de Geociências da U.C e Departamento de Ciências da Terra da U.C., lidiagil@dct.uc.pt
3. Departamento de Ciências da Terra da U.C., Geonatour; fabio.antunes@geonatour.com

RESUMO

O trabalho de prospeção geofísica foi realizado no sítio designado por Alagoa, no concelho de Arganil, com o objetivo de selecionar locais para fazer furos de captação de água para consumo público. Geologicamente o local é uma zona de aluvião localizada na margem direita do rio Alva e o substrato rochoso é constituído por rochas xistentas. A campanha de prospeção geofísica foi desenvolvida com os métodos de resistividade elétrica e eletromagnético no domínio tempo. Foram feitas seis seções de resistividade com o dispositivo Dipolo-Dipolo e quatro perfis de prospeção eletromagnética no domínio tempo, construídos com um total de 13 sondagens eletromagnéticas. Da interpretação dos dados de prospeção geofísica a zona recomendada para efetuar os furos de captação foi localizada entre duas das tomografias de resistividade efetuadas, a uma distância de aproximadamente 65 m do início das tomografias, e onde foram selecionados dois locais potenciais para a execução de furos de sondagem para prospeção e pesquisa. Dos furos de pesquisa efetuados, confirmou-se que o substrato rochoso encontra-se aproximadamente a 10-15 m de profundidade e o nível freático próximo da superfície.

Palavras-chave: Prospeção Geofísica, tomografia de resistividade elétrica, TEM, captação, aluvião.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho foi a seleção de locais para a construção de novas captações de água no sítio designado por Alagoa, concelho de Arganil, distrito de Coimbra numa zona próximo das captações já existentes.

Na figura 1 está assinalada a localização da área onde foram efetuados os trabalhos de prospeção geofísica e na figura 2 o pormenor da implantação das tomografias de resistividade elétrica (linhas amarelas) e dos perfis de TEM (linhas verdes) situados próximo das captações de abastecimento público existentes localizadas na margem direita do Rio Alva.

O aquífero aluvionar não-confinado de Alagoa (Arganil), tem uma morfologia e natureza areno-conglomerática. Estes depósitos são compostos por intercalações lenticulares de níveis areno-conglomeráticos com níveis silto-argilosos. A base deste aquífero é constituída por conglomerados e arenitos moderadamente consolidados da Formação dos Conglomerados de Folques e Lutitos de Vidoal de idade terciária, os quais assentam sobre formações xistentas do Supergrupo Dúrico-Beirão (Azevedo et al., 2010)

Pretendeu-se com este trabalho de prospeção geofísica identificar as formações geológicas em profundidade, relacionar os valores da resistividade elétrica das formações geológicas com a presença de aquíferos e selecionar locais para futuras captações (Figueiredo et al., 2015). Para atingir esses objetivos foram feitas seis tomografias de resistividade elétrica com aplicação do dispositivo Dipolo-Dipolo. Para complementar a informação obtida e melhorar a definição do substrato rochoso foi também utilizado o método eletromagnético no domínio tempo (TEM), tendo sido efetuadas 13 sondagens eletromagnéticas, através das quais foram construídos 4 perfis interpretativos.

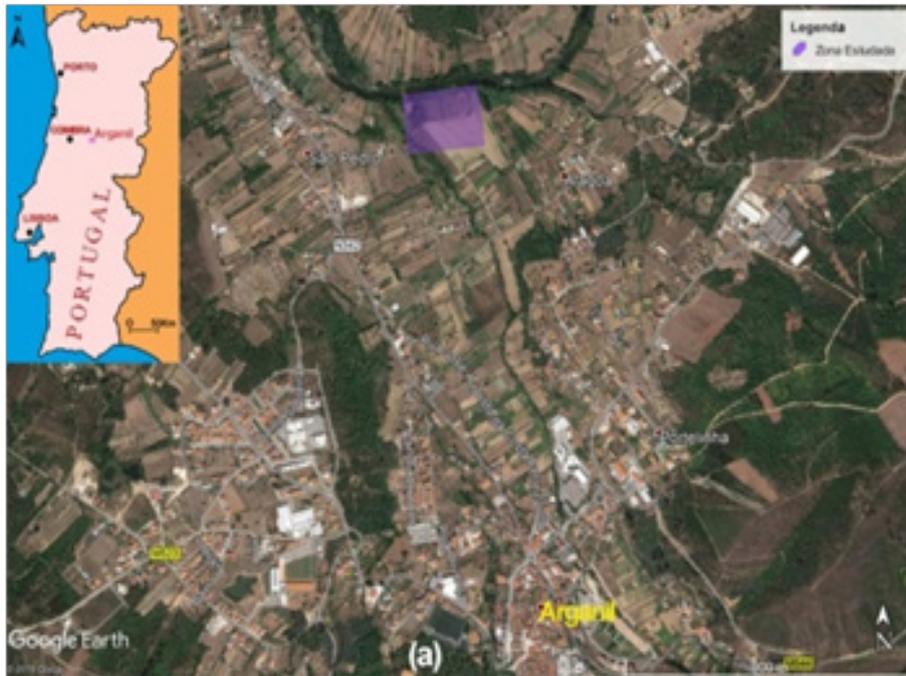


Figura 1 – Localização da área estudada, no concelho de Arganil, perto do local designado por Alagoa, (adaptado de Google Earth Pro, 2019)

2. TRABALHO DE CAMPO E TRATAMENTO DOS DADOS

O local onde foram feitos os trabalhos de prospeção geofísica é um terreno que tem aproveitamento agrícola e de fruticultura com morfologia plana.

Na figura 2 podemos observar as localizações e alinhamentos das seis tomografias de resistividade elétrica (Arg1 a Arg6) efetuadas nesta campanha de prospeção, bem como as localizações das treze sondagens eletromagnéticas (ARGS1 a ARGS13) e os quatro perfis elaborados a partir das mesmas.

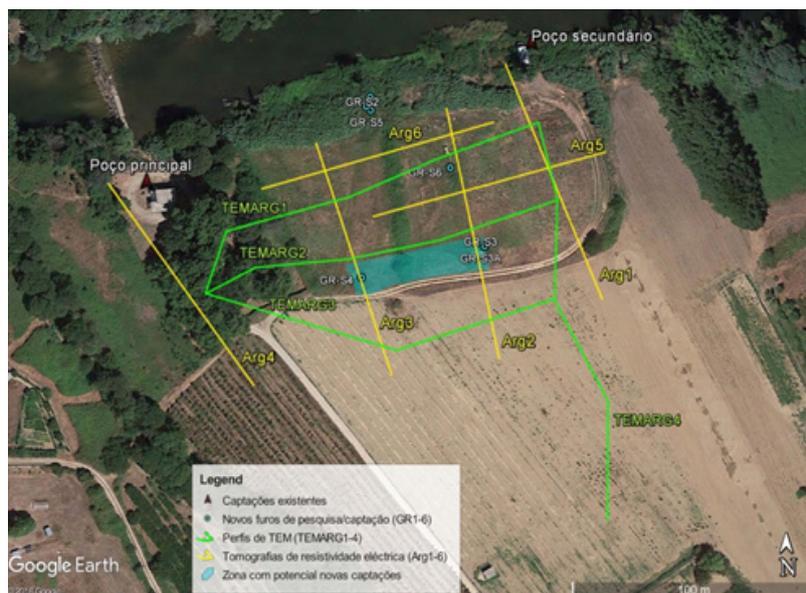


Figura 2 – Localização dos trabalhos de prospeção geofísica (adaptado de Google Earth Pro, 2019)

As tomografias de resistividade elétrica foram efetuadas com um espaçamento entre elétrodos de 5 m. O espaçamento entre elétrodos escolhido permite obter uma boa resolução, suficiente para poder caracterizar geologicamente os locais estudados, quer lateralmente, quer em profundidade. O equipamento utilizado no trabalho de campo foi um resistímetro ABEM SAS 300B, com um sistema de multicabos, que permitiu efetuar a recolha de dados semi-automática. A profundidade média atingida por este tipo de trabalho foi de 20 m.

Para as treze sondagens eletromagnéticas foi utilizado um equipamento de prospeção eletromagnética no domínio tempo, designado por TEM Fast 48. Foi utilizada uma antena quadrada de 25 m de lado e uma intensidade de corrente de 4 A, o que permitiu obter uma profundidade de investigação de aproximadamente 80 a 90 m.

3. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS DE PROSPECÇÃO GEOFÍSICA

Da análise das seis tomografias de resistividade, interpretadas com o software *Res2DInv*, independentemente da sua orientação, podemos constatar que em todas as tomografias é possível distinguir três zonas distintas. Uma superficial com uma resistividade entre 300 a 3000 ohm.m que corresponde à camada de cobertura de solo, uma camada intermédia com uma resistividade com valores entre 20 a 300 ohm.m, que poderá corresponder a camadas de areia/saibro com água e finalmente uma camada com resistividade superior a 500 ohm.m, à profundidade 10 a 15 m que poderá corresponder ao substrato rochoso na base da aluvião.

Na figura 3 mostra-se, como exemplo, a tomografia de resistividade Arg5, onde se podem observar as três zonas com resistividades distintas, referidas anteriormente.

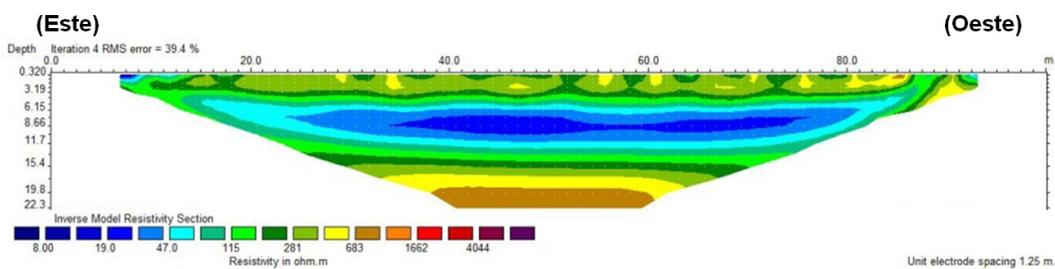


Figura 3 – Exemplo de uma das tomografias de resistividade elétrica (Arg5).

As treze sondagens eletromagnéticas realizadas com o equipamento TEM Fast 48 foram distribuídas no terreno de modo a poder construir um modelo geológico/estrutural que fornecesse informação sobre o substrato rochoso que ajudasse na implantação das novas captações de água.

As sondagens eletromagnéticas foram interpretadas com o *software* TEM-RES-WIN tendo sido obtidos, predominantemente, modelos de 4 camadas para uma profundidade de aproximadamente 80/90 m. Da interpretação destas sondagens construíram-se quatro perfis (TEMARG1 a TEMARG4), que englobam todas as sondagens, algumas delas integrando mais do que um dos perfis construídos. Destes, três têm uma direção predominante de E-W e o perfil TEMARG4 uma direção predominante N-S. Na figura 4 apresentam-se os perfis de sondagens eletromagnéticas TEMARG1 e TEMARG2, como exemplo dos resultados obtidos.

Da análise dos perfis, figura 4, observa-se que as camadas que constituem a aluvião são bastante uniformes, apresentando uma continuidade lateral. O substrato rochoso deteta-se a uma profundidade que varia entre os 10 e 15 m, com uma resistividade superior a 1000 ohm.m, como também se verificava no método da resistividade.

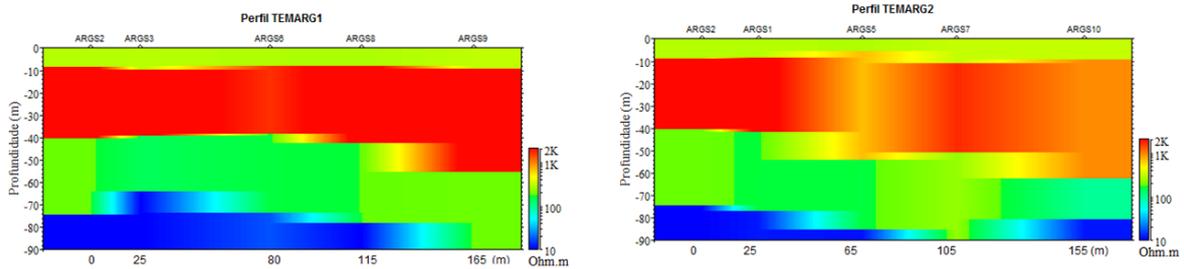


Figura 4 – Modelos obtidos para os perfis de sondagens eletromagnéticas TEMARG1 e TEMARG2.

Nos perfis podemos observar algumas descontinuidade que poderão corresponder a falhas que afetam o substrato, como se observa no perfil TEMARG1 entre as sondagens ARG8 e ARG9, e no perfil TEMARG2 na proximidade da sondagem ARG5 (Figura 4). Estas possíveis falhas detetadas não vão influenciar a construção das captações, visto que só afetam o substrato e a construção da captação será feita na aluvião.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os critérios utilizados para a seleção da zona recomendada, figura 5 (zona assinalada a azul) e locais para a realização de sondagens de prospeção e pesquisa foram a baixa resistividade da camada (possível indicador de presença de água e camada com permeabilidade elevada) e maior espessura da aluvião.

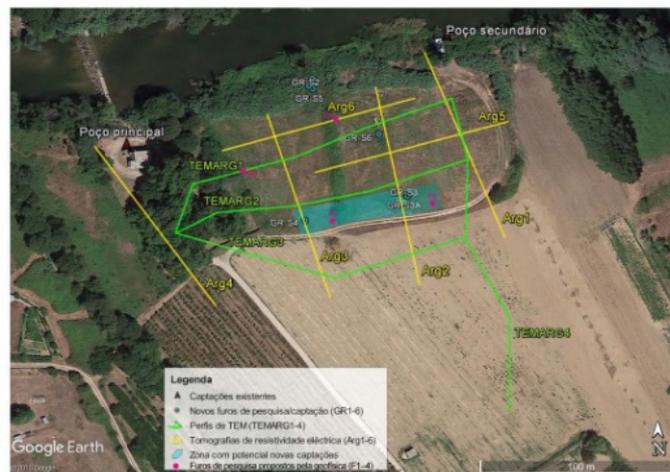


Figura 5 – Zona com potencialidades para a construção das captações (assinalada a azul) e localização dos quatro locais onde se recomenda a realização das sondagens mecânicas para pesquisa e captação (F1 a F4)

Da interpretação dos dados de prospeção geofísica a zona recomendada para efetuar os furos de captação deverá localizar-se entre as tomografias de resistividade Arg2 e Arg3 a uma distância de aproximadamente 65 m do início das tomografias, assinalada na figura 5, e onde foram marcados dois locais (F1 e F2) como potenciais para a execução de furos de sondagem para prospeção e pesquisa. Foram ainda propostos dois dos locais (F3 e F4) fora da zona recomendada para a construção da captação constituindo locais alternativos para efetuar os furos mais próximos da margem do rio Alva. Os resultados obtidos após a realização dos mesmos corrobora a interpretação dos modelos geofísicos apresentados (Figura 6), mostrando que o substrato rochoso surge aproximadamente aos 10 m e que o nível freático está presente aos 2-3 m.

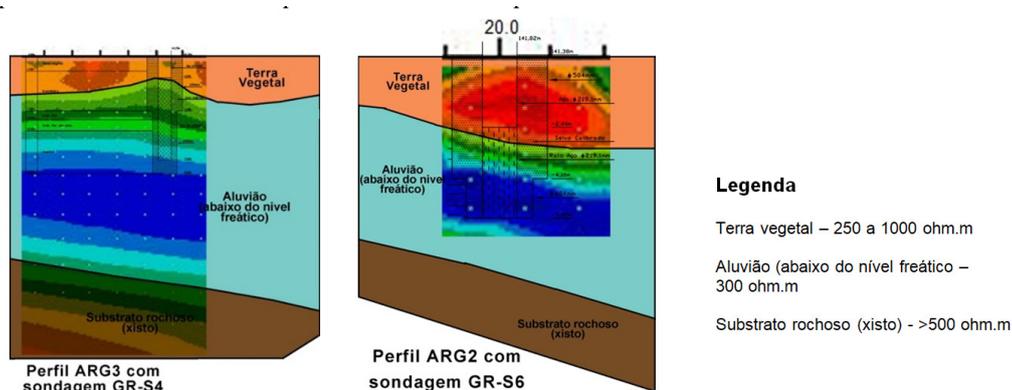


Figura 6 – Sobreposição dos modelos de interpretação geofísica com os resultados das sondagens de pesquisa realizadas na zona recomendada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Câmara Municipal de Arganil, todo o apoio e facilidades concedidas na realização deste trabalho, bem como ao Sr. Vice Presidente Dr. Luís Paulo Carreira Fonseca Costa e ao Eng^o Ricardo.

Agradecemos ao Prof. Doutor José António Simões Cortez a disponibilização de elementos técnicos que permitiram a apresentação deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azevedo, J. M, Oliveira, A. R. e Pereira, P. C. (2010) Uso de critérios geológicos e estruturais na protecção de massas de água subterrânea e de captações associadas – Exemplos dos municípios de Arganil e de Penela. e – Terra, Volume 14 – nº 3, GEOTIC – S.G.P., VIII Congresso Nacional de Geologia.

Figueiredo, F. P, Catarino, L. M e Antunes, F. (2015) Relatório da campanha de prospecção geofísica para implantação de novas captações de água em Arganil – Alagoa. Relatório interno, Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

REFERÊNCIAS INTERNET

<http://earth.google.com> (consultada em Junho de 2015)

PROSPECÇÃO GEOFÍSICA PARA IDENTIFICAÇÃO DE CURSOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEOS - IMPLICAÇÕES GEOTÉCNICAS

João DUARTE¹, José CARVALHO², Fernando FIGUEIREDO³, Carla Sofia ROCHA⁴, Filipa PINTO⁵

1. IQGeo – Serviços, Lda. e Centro de Geociências da UC, Portugal, joao.aduarte@iqgeo.pt

2. Centro de Geociências da UC, jose.carvalho.geo@gmail.com

3. Centro de Geociências da UC e Departamento de Ciências da Terra da UC, fpedro@det.uc.pt

4. Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico e Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN), Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico carla.s.rocha@ist.utl.pt

5. Camara Municipal da Mealhada, – filipapinto@cm-mealhada.pt

RESUMO

O presente trabalho de prospecção geofísica teve como objectivo identificar a existência e traçado de cursos de água subterrâneos e a sua implicação na estabilidade de infraestruturas, numa zona na vila de Luso, Mealhada. Pretendeu-se igualmente verificar se o(s) possível(eis) curso(s) de água subterrâneo(s) possa(m) ter tido influência, directa ou indirecta, num aluimento de terras que ocorreu junto ao pavilhão gimnodesportivo, nessa localidade. Com a utilização do método de Radar de Penetração no Solo (GPR) pretendeu-se identificar as assinaturas geofísicas que identificam os possíveis cursos de água e as estruturas geológico-estruturais associadas. Foram tidas em consideração as limitações deste método de prospecção, uma vez que estamos na presença de fluidos circulantes e de estruturas condutoras, tais como camadas argilosas ou lodos, que dissipam a energia electromagnética do GPR e não permitem alcançar maiores profundidades. Mesmo com estas condicionantes, foi utilizado este método de prospecção devido à sua elevada resolução espacial. O procedimento para a aquisição de dados iniciou-se com a marcação dos perfis no terreno com recurso a métodos de topografia simples e marcação dos mesmo nos mapas para posterior georreferenciação. A aquisição dos perfis em cada uma das zonas definidas foi efectuada com o equipamento GPR “pulseEKKO®”, respectivo Smartcart e antenas biestáticas não blindadas de 100MHz da Sensors&Software©, tendo sido os dados da aquisição processados no programa informático EKKO Project™ v.5) (EKKO, 2015) também da Sensors&Software©. Como resultado do processamento, obtiveram-se perfis 2D de GPR (radargramas), que alcançaram uma profundidade média de investigação de cerca de 18 metros, e que permitem a elaboração de um modelo de *slice-views* em profundidade para cada zona englobando os dados das linhas adquiridas. Nesses perfis é possível identificar algumas estruturas geológicas que podem ser interpretadas como possíveis estruturas sedimentares, onde são visíveis os seus limites verticais e horizontais. Também foram identificados os possíveis locais de drenagem das águas subterrâneas e os vazios causados pela sua percolação. Para o objectivo proposto o método e a metodologia revelaram-se eficazes, propondo-se em trabalhos futuros a integração destes dados com outros obtidos a partir de outros métodos e metodologias que permitam ser utilizados na identificação das causas e efeitos de situações de instabilidade semelhantes.

Palavras-Chave: Águas subterrâneas, erosão, instabilidade; GPR; radargramas.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foi realizado, na sequência da ocorrência de um aluimento de terras, que provocou uma situação de instabilidade num pavilhão gimnodesportivo, originando antigas condutas de água. O método utilizado (GPR), apresenta algumas características que fazem com que seja muito utilizado em estudos de prospecção geofísica aplicados à hidrogeologia (Davis & Annan, 1989), identificação e caracterização geológico-estruturais (Carvalho, 2018) e avaliação geotécnica (Pedrosa, 2009). O trabalho de prospecção geofísica teve como objectivo localizar o(s) curso(s) de água(s) subterrâneo(s) existentes na área, tendo sido efectuados estudos no interior do pavilhão gimnodesportivo, na zona envolvente exterior e no jardim do lago de Luso, Mealhada, onde ocorreu o aluimento de terras com abertura de uma cratera. Constatou-se que aparentemente existe pelo menos um curso de água situada por baixo desta edificação. A distribuição espacial dos perfis foi escolhida tendo em conta abranger a maior área envolvente ao edifício e a resolução e interpolação dos dados na modelação, assegurando que todas as estruturas que

originaram este aluimento e outras não conhecidas que sejam identificadas. Para a visualização e interpretação dos modelos geofísicos de subsuperfície houve integração dos dados com imagens aéreas extraídas do *Google Earth Pro* e com o Mapa de Luso (J.T.L.B, 1959). Os resultados foram apresentados através de imagens e mapas, acompanhados das respectivas interpretações e considerações, relacionando estes com a dinâmica geológica envolvente.

2. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO, GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

O trabalho de prospecção geofísica foi realizado na vila do Luso pertencente ao concelho da Mealhada, que se localiza no centro de Portugal a norte da Cidade de Coimbra (Fig. 1). Geologicamente a área de estudo situa-se numa zona afectada por várias falhas conjugadas e no contacto entre duas unidades geológicas distintas: Unidades do Precâmbrico e Paleozóico indiferenciadas (**PPi**) e Unidades do Pérmico – Carbónico (**PC**) (Fig. 2), de acordo com a cartografia geológica da área em Dinis, (2004), descrição das Unidades da Notícia Explicativa da Carta Geológica do Buçaco de Nery Delgado em Carrington da Costa, (1950) e legenda da Carta Geológica de Portugal à escala 1: 500 000 de Oliveira *et al.* (1992).



Fig. 1. Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP2017). (Adaptado de DGT, 2019).

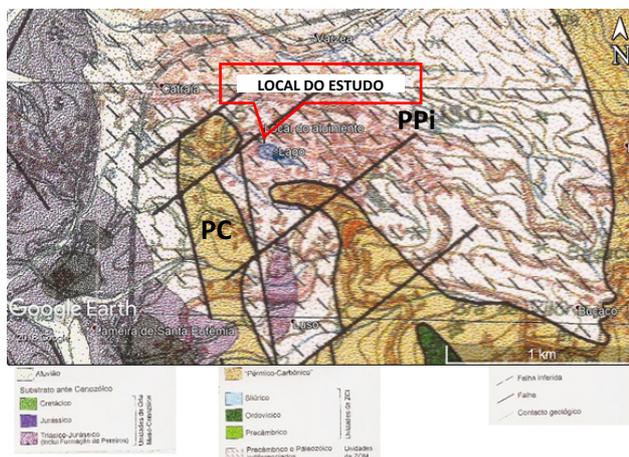


Fig. 2. Excerto da cartografia geológica realizada por N.Delgado e publicada em Costa (1950), com a localização da área de estudo projectada na imagem do *Google Earth Pro* 2018 (Adaptado de Dinis, 2004).

O sistema aquífero do Luso desenvolve-se no flanco Este, do sinclinal do Buçaco, no troço entre Luso e Penacova, numa área de 15,3km². Pertence à Unidade Hidrogeológica do Maciço Antigo, é composto por 4 aquíferos (Termal do Luso, Hipotermal do Luso, Termal de Penacova e Suspenso da Cruz Alta), diferenciam-se pela profundidade de circulação, temperatura de ocorrência, tempos de permanência e conteúdo em sílica relacionada com o tempo de residência. A fácies química dominante é Cl/Na, são águas pouco mineralizadas e hipossalinas. Os recursos totais de todo o sistema aquífero atingem aproximadamente valor superior a 1,5 hm³/ano. O escoamento é paralelo ao eixo do afloramento dos quartzitos (NW-SE) com uma linha de partição de águas subterrâneas, a partir da qual o fluxo diverge para NW (Luso) e SE (Penacova), segundo Vieira da Silva *et al.* (2000) in Almeida *et al.* (2000).

3. TRABALHO DE CAMPO E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

A aquisição de dados foi efectuada dentro e nas imediações do Pavilhão Gimnodesportivo de Luso – Mealhada (coordenadas UTM: 29T, 4.470.705N, 552.475E). Foram definidas 4 áreas distintas para facilitar a aquisição (Fig. 3). Na totalidade da área, para obter mais informação, usou-se a sobreposição do Mapa de Luso com a imagem do *Google Earth Pro* (Fig. 4), onde está marcado o suposto e provável traçado de cada um dos cursos de água que se pretenderam identificar. O trabalho foi efectuada utilizando um equipamento GPR “pulseEKKO®” da Sensors&Software©, com respectivo *Smartcart* e usando antenas biestáticas não blindadas de 100MHz, tendo sido adquiridos nas zonas B, C e

D vários perfis cruzados, de forma a criar um modelo de *slice views* em profundidade dessas zonas. Na zona A optou-se por adquirir apenas 2 perfis paralelos devido a esta área ter uma largura relativamente pequena em relação ao seu comprimento. Os dados adquiridos foram processados posteriormente em computador, utilizando um programa informático específico para o efeito (EKKO Project™ v.5) (EKKO, 2015).



Fig. 3. Localização das áreas de estudo (Google Earth Pro, acedido em 27-05-2018).



Fig. 4. Mapa de Luso com as galerias assinaladas a preto, sobreposto ao Google Earth. (Google Earth Pro, acedido em 14-09-2018).

Obtiveram-se como resultado do processamento, perfis de GPR (radargramas) (Fig. 5) que alcançaram, em média, uma profundidade de investigação de 18 metros. O processamento no programa informático envolveu a georreferenciação dos perfis para criação de um modelo de *slice-views* em profundidade para cada zona, englobando os dados das linhas adquiridas e posterior aplicação de filtros para melhorar a visualização (remoção da componente de deslocamento contínua – “DC-Shift”, ajuste do tempo de propagação das ondas à real superfície do terreno – “time zero adjustment”, remoção de ruídos de fundo no sinal, aplicação de funções de ganho e filtros passa-banda e envelope). Para efeitos de cálculo de profundidades, a velocidade média das ondas EM no meio foi definida para 0.1 m/ns (metros por nanossegundo), que é o valor mais usual para a maioria das áreas. Nos perfis foi possível reconhecer elementos que podem ser interpretados como possíveis estruturas geológicas, infraestruturas urbanas e linhas de água subterrâneas, estas responsáveis pelo problema geotécnico observado, com base na interpretação dos radargramas (horizontes reflectores) e das variações de cor na escala de valores de amplitude de reflexão da onda nos *slice-views*. Esta amplitude está directamente relacionada com as propriedades eléctricas dos materiais (condutividade eléctrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética) (Annan, 2005). Os modelos criados foram posteriormente exportados para ficheiros no formato KMZ, de modo a poderem ser localizados geograficamente e visualizados no Google Earth Pro (Fig.6).

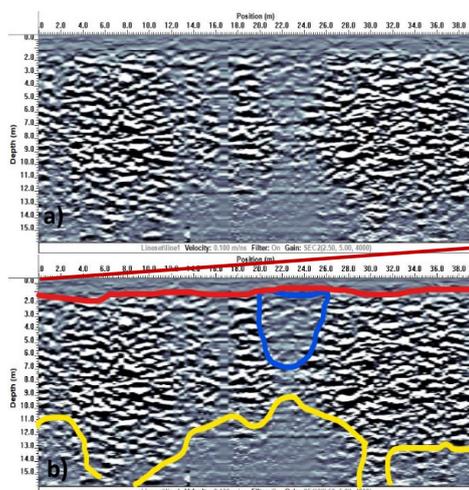


Fig. 5. a) Radargrama (100 MHz). b) Interpretação do radargrama. Linha vermelha – Base da lage betão. Linha azul – Curso de água/galeria. Linha amarela – Contacto entre litologias.

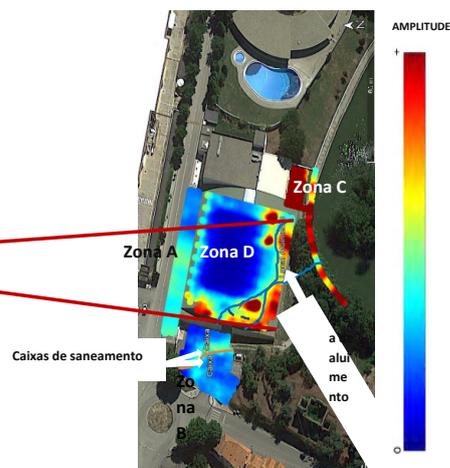


Fig. 6. Mapa geral de *slice-views* e localização aparente das estruturas projectadas no Google Earth Pro. Linha azul – Cursos de água prováveis. Linha castanha – Traçado de possíveis tubagens.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Na figura 6 é apresentado um modelo com a projecção dos *slice-views*, que melhor expressa a distribuição dos valores das anomalias e que permite fazer uma melhor interpretação do tipo e forma de ocorrências no subsolo. As linhas a azul correspondem à interpretação das possíveis zonas de circulação de água/galerias. A linha a castanho na Zona B corresponde à interpretação do traçado de tubagens/conduitas de escoamento de águas superficiais. Na figura 6 apresentada, a representação das *slice-views* de cada uma das quatro zonas, correspondem sensivelmente a uma profundidade comum relativamente umas às outras (Profundidades das *slice-views* usadas: Zona A – 9 metros; Zona B – 1.5 metros; Zona C – 4 metros; Zona D – 2.5 metros).

Concluiu-se, que o factor geológico e geomorfológico foi determinante para o problema surgido. Por ser uma zona de vale, é de prever que toda a massa de água caída a montante vá escoar para o local mais baixo, que é precisamente onde se situa o pavilhão. Para além disso, o declive desta área leva também a que a água percorra essas vertentes e chegue a esta zona com alguma intensidade (não é por mero acaso que ali existiam moinhos de água antigamente, e que muitas linhas de água convergiam para aquela zona), facto que foi confirmado pelo processamento e modelação dos dados adquiridos. Neste contexto, a utilização deste método geofísico revelou-se adequado pela sua rapidez de aquisição, pela qualidade dos dados adquiridos, pela sua precisão e resolução vertical e horizontal, alcançando os objectivos propostos - a localização dos cursos de água/ galeria(as) subterrâneas e os danos por elas causados nas infraestruturas urbanas. Em trabalhos futuros, dadas as características únicas deste método não destrutivo, recomenda-se a sua utilização para estudos hidrogeológicos (identificação de cursos de água subterrâneos, níveis freáticos, entre outros), assim como a identificação e avaliação de infraestruturas.

AGRADECIMENTOS

Os nossos agradecimentos á Eng. Filipa Damas Pinto – Divisão de Administração e Conservação do Território e à Eng. Arminda de Oliveira Martins – Vereadora, da Câmara Municipal da Mealhada, todo o apoio e simpatia demonstrados durante o dia dos trabalhos e em todos os contactos realizados, bem como também pela inteira e imediata disponibilidade na cedência de material suplementar informativo acerca da zona onde foram feitos os trabalhos. Agradecemos o apoio financeiro da FCT-MEC através de fundos nacionais e, quando aplicável, co-financiado pelo FEDER no âmbito da parceria PT2020, através do projecto de investigação UID/Multi/00073/2013 do Centro de Geociências; Bolsa de Investigação de Doutoramento (FCT SFRH/BD/105622/2015), projecto FCT-UID/ECI/04028/2019 do CERENA/IST e projecto FCT-UID/MULTI/04349/2013 do C²TN/IST.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida C, Mendonça JLL, Jesus MR, Gomes AJ (2000) – *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental, Sistema Aquífero: Luso (A12)*. Instituto da Água e Centro de Geologia, Dezembro 2000.
- Annan AP (2005) - Ground-Penetrating Radar. Near-Surface Geophysics, 357–438. doi:10.1190/1.9781560801719. ch11. pp.366.
- Carvalho J (2018) - *Casos de Estudo com Utilização de GPR. Reconhecimento e Caracterização de Estruturas Geológicas, Arqueológicas e Estruturas Subterrâneas*. Coimbra. Tese de Mestrado. Departamento e Ciências da Terra, Universidade de Coimbra. pp.79-107.
- Costa, JCD (1950) - *Notícia sobre uma carta geológica do Buçaco, de Nery Delgado*. Serviços Geológicos de Portugal. pp. 1-27.
- Dinis, P A H D M (2004) - *Evolução pliocénica e quaternária do Vale do Cértima*. Coimbra. Doctoral dissertation, Dissertação de Doutoramento. Universidade de Coimbra.
- EKKO_Project User's Guide – With Processing, Bridge Deck Condition & Pavement Structure Modules. Sensors & Software Inc. Canada. 2015.
- Mapa de Luso (1959). Junta de Turismo de Luso - Bussaco.
- Oliveira JP, Pereira E., Ramalho M, Antunes MT, Monteiro JH (1992) - *Folha Norte da Carta Geológica de Portugal, à escala de 1: 500 000*. Direcção Geral de Minas e de Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.



Pedrosa, M. J. N. (2009). Caracterização da fundação de infra-estruturas de transporte com recurso ao georadar: identificação das camadas de apoio. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

REFERÊNCIAS INTERNET

Direção-Geral do Território (DGT). Disponível em: < <http://mapas.dgterritorio.pt/viewer/index.html>>. Consultado em 16 de janeiro de 2019.

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA FORMAÇÃO ACADÉMICA EM PORTUGAL (LICENCIATURAS, MESTRADOS E ESPECIALIZAÇÕES): ESTADO ATUAL

Ana Isabel ANDRADE¹, Manuel ABRUNHOSA²

1. Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra (CITEUC), Observatório Geofísico e Astronómico, Almas de Freire, 3040-004 Coimbra, aiandrade09@gmail.com

2. Investigador independente, manuel.abrunhosa@gmail.com

RESUMO

Existe a perceção entre os académicos e profissionais em hidrogeologia e os quadros que de alguma forma lidam com matérias de águas subterrâneas que a formação académica atual em matérias de ciência e tecnologia em águas subterrâneas está subrepresentada nos currícula e que esta situação poderá constituir um fator determinante para a frequentemente apontada desconsideração das águas subterrâneas nas mais variadas áreas em que este recurso natural intervem na sociedade. De forma a desenvolver uma opinião sustentada em factos, foi efetuado um levantamento tão exaustivo quanto possível da oferta nacional de cursos de licenciatura, mestrado e especialização pós-graduada, através da identificação de unidades curriculares (UCs) que, pela sua denominação ou pela consulta do programa de estudos (quando disponível) incluem matérias significativas sobre águas subterrâneas no período letivo de referência de 2018-2019. Uma análise dos dados permitiu reconhecer um quadro geral e da oferta formativa em Portugal Continental (à escala de distrito) e nas Regiões Autónomas, tendo-se verificado um número inesperadamente considerável de cursos com inclusão de UCs (obrigatórias e/ou opcionais) em águas subterrâneas, desde as ciências, às engenharias, às tecnologias, à saúde e às humanidades. A oferta formativa de cursos com UCs em águas subterrâneas apresenta um pólo destacado em Lisboa, mas existe em quase todos os distritos (incluindo Regiões Autónomas) e as muitas UCs identificadas incluem matérias de provavelmente todas as áreas científicas e tecnológicas em que as águas subterrâneas são objeto de estudo e intervenção. O estudo permite concluir que há formação superior, distribuída pelo país e instituída nas mais diversas áreas de conhecimento e profissionais, em todas as matérias da água subterrânea. Serão outros os fatores, que não a indisponibilidade de profissionais e cientistas com formação superior com conhecimentos em águas subterrâneas, que poderão explicar a perceção de que existe défice atual na capacidade de intervenção em matérias relevantes em que as águas subterrâneas têm papel essencial.

Palavras-Chave: Ensino Superior; Portugal; Águas subterrâneas; Oferta formativa

INTRODUÇÃO

A água subterrânea é um recurso natural regido pelo ciclo da água e da maior relevância para a vida na Terra e para as atividades humanas. O mundo encontra-se em acelerada transformação como resultado do aumento da população, do incremento dos níveis globais de desenvolvimento, das alterações climáticas e ainda das suas consequências, como o crescimento das necessidades alimentares, energéticas e de outros recursos naturais, de urbanização e da crescente afetação de áreas naturais para atividades humanas. A água, nomeadamente a água doce, e a água subterrânea em particular, tem tido um incremento em consumo à escala global que paraleliza o padrão de crescimento dos fatores anteriores (Conti et al. 2016; FAO 2016; Leyronas 2016). O ciclo da hidrológico é impactado, ocorrendo a alteração significativa dos fluxos pré-existentes da água ou a criação de novos fluxos. Isto verifica-se tanto em termos quantitativos como em termos qualitativos, colocando as atividades humanas em situações de risco bem como o meio ambiente em novas condições de stress. O conhecimento dos sistemas naturais e antrópicos onde a água subterrânea se distribui, e com os quais interage, as necessidades de atuação tecnológica em meios onde a água subterrânea está presente e a gestão responsável dos recursos naturais, e dos sistemas hidrogeológicos em particular, constituem domínios de atuação de profissionais em ciência e tecnologia. Estes profissionais deverão estar capacitados com conhecimentos e competências baseadas em formação académica superior na qual matérias em águas subterrâneas deverão incorporar programas de ensino adequados às funções científicas e tecnológicas da sua futura atividade profissional.

O objetivo do estudo, cujos resultados se apresentam nesta comunicação, foi a avaliação da situação atual da oferta formativa académica superior de cursos que incluem unidades curriculares (UCs) que abordem, de forma minimamente representativa no programa, e de forma mais ou menos aprofundada, qualquer uma das diversas vertentes do tema “águas subterrâneas”. Esta questão foi anteriormente abordada em Barradas e Silva (1985). Para o cumprimento do objetivo proposto, foi projetada uma investigação que nos permitiu apurar factos, pretendendo responder fundamentadamente a três questões: i) quais os cursos de licenciatura, mestrado e especialização pós-graduada (excluindo os cursos de doutoramento e cursos não graduados) que incluem formação em águas subterrâneas; ii) qual a intensidade de formação existente nos cursos disponíveis e iii) onde no território nacional (a nível de distrito, no Continente, e Regiões Autónomas) se processa a formação académica correspondente. A resposta a estas questões permitirá um melhor entendimento das competências disponíveis e do potencial de capacidades de resposta, focada no profissional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A informação de base para este trabalho foi obtida a partir da pesquisa efetuada num portal da Direção-Geral do Ensino Superior onde constam as instituições de ensino superior portuguesas. No website de cada uma das instituições foram depois acedidas as páginas dos cursos de licenciatura, mestrado, mestrado integrado e especialização pós-graduada; não foram avaliados os cursos de doutoramento nem os cursos não conferentes de grau. Foram dispensados de pesquisa adicional para deteção de UCs incluindo matérias sobre águas subterrâneas as instituições/cursos em que se considerou ser de todo improvável a sua ocorrência (ex: a Academia Nacional Superior de Orquestra, em Lisboa, ou o Instituto Superior de Serviço Social do Porto). Todos as restantes instituições/cursos foram escrutinadas. Os critérios para selecção das UCs (obrigatórias e/ou opcionais) foram: i) termos explícitos relativos a águas subterrâneas na denominação das UCs (ex: hidrogeologia, aquíferos e águas subterrâneas) e ii) a deteção de palavras-chave pré-seleccionadas (ex: hidrogeologia, escoamento na zona saturada e escoamento em meios porosos) nos programas (quando disponíveis) de UCs com denominações que indiciam a inclusão de matérias sobre águas subterrâneas. A selecção das UCs não teve em conta a forma como o seu conteúdo programático se encontra definido ou organizado e não implica juízo de valor quanto à forma/conteúdo da unidade curricular (UC). A informação compilada e verificada foi incluída numa base de dados em que foram discriminados vários marcadores, nomeadamente a agregação dos cursos identificados por áreas científicas. Estes marcadores permitiram a exploração estatística e a geração de gráficos representativos tendentes a dar resposta às questões inicialmente formuladas e que orientaram a pesquisa. A pesquisa nos websites decorreu entre 7 de dezembro de 2018 e 31 de janeiro de 2019, tendo sido adoptado o período letivo de referência de 2018-2019.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise dos dados recolhidos constata-se que há cursos que integram nos seus planos de estudos UCs que incluem matérias de águas subterrâneas nos seus programas (exclusivamente ou com foco significativo) tanto no Ensino Universitário como no Politécnico, com maior prevalência no ensino público, e com distribuição por quase todo o país, incluindo as Regiões Autónomas (ver figura 1); a excepção são os distritos de Viana do Castelo, Guarda, Santarém e Portalegre em que não foi possível a identificação de nenhuma UC/course que cumpra os critérios definidos.

No período de referência foram identificadas em funcionamento 180 UCs cumprindo os requisitos definidos, integrando um total de 108 cursos divididos por: 56 licenciaturas, 37 mestrados, 11 de mestrados integrados e 4 especializações pós-graduadas. Cada um destes cursos inclui pelo menos uma UC que cumpre os critérios definidos, existindo cursos com estas características em praticamente todos os distritos de Portugal Continental e Regiões Autónomas (ver figura 2).

De acordo com a figura 3, muitas das UCs consideradas (70 das 180) integram os planos de estudos de cursos na área das ciências, maioritariamente cursos de Geologia, Geociências e Ciências da Terra, e da área da tecnologia, cursos de Engenharia do Ambiente e Engenharia da Qualidade e Ambiente.

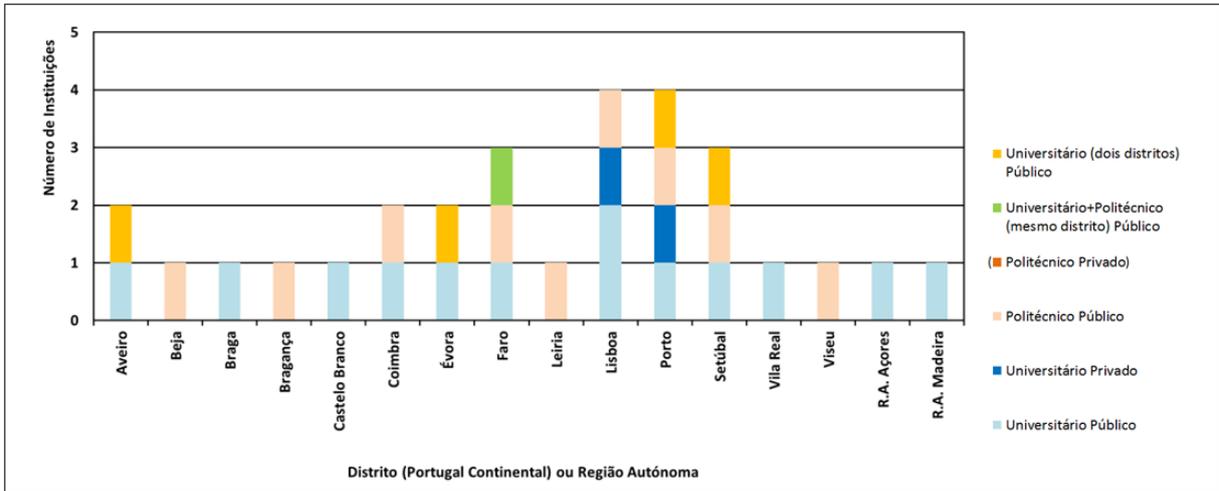


Fig. 1. Instituições de ensino superior em Portugal que têm na sua oferta formativa pelo menos um curso com unidades curriculares identificadas pelos critérios definidos

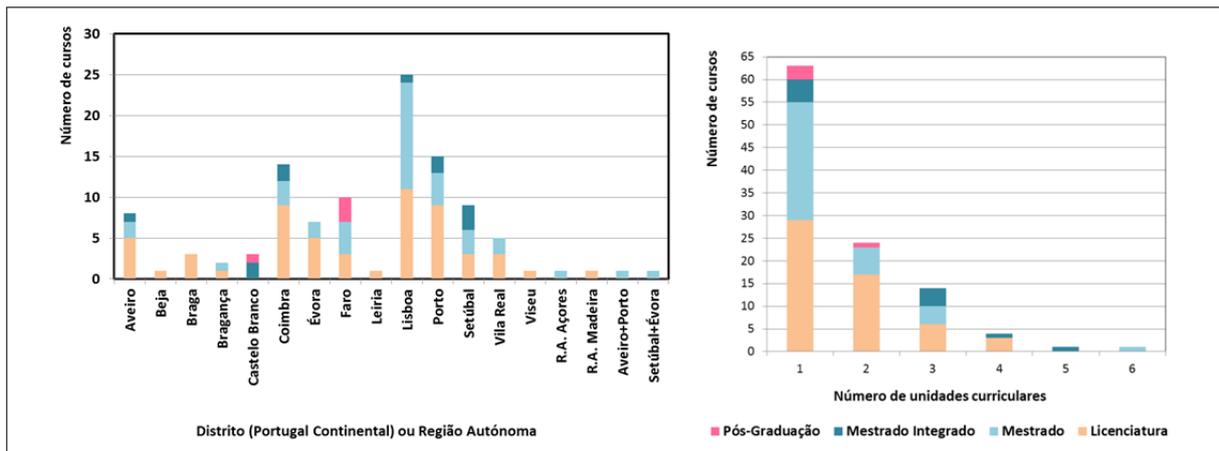


Fig. 2. Número de cursos, por diferente grau, distribuídos pelas diferentes áreas do país (à esquerda) e com a discriminação do número total de unidades curriculares seleccionadas, constantes do plano de estudos (à direita)

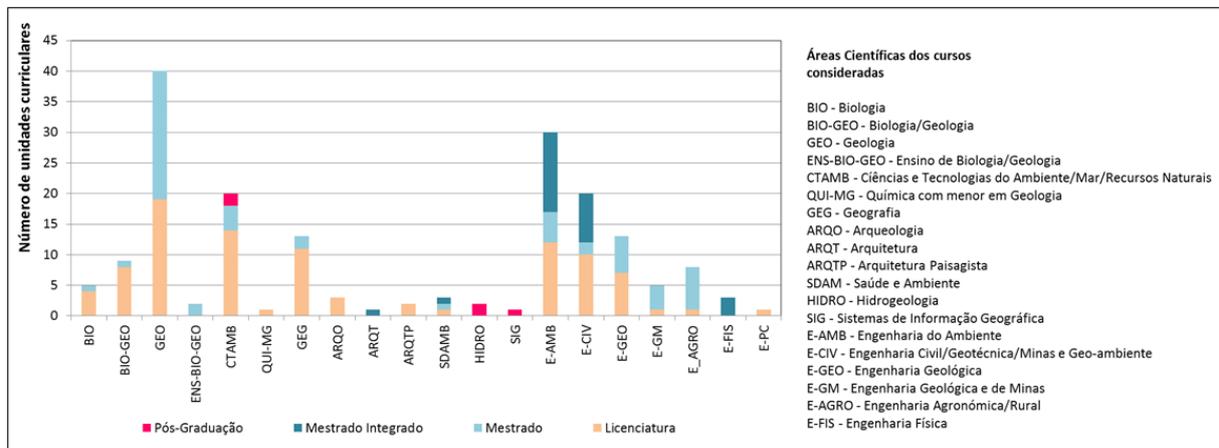


Figura 3. Número de unidades curriculares por nível de ensino e área dos cursos que integram

O procedimento exaustivo da metodologia permitiu detetar UCs integrando matérias relativas a águas subterrâneas em cursos em que o senso comum apontaria como improváveis (exemplo: Licenciatura em Património Cultural e Arqueologia - Ramo de Arqueologia da Universidade do Algarve).

Muitas UCs abordam temas genéricos como “Ciclo Hidrológico”, “Ciclo da Água” ou “Recursos Hídricos”, não sendo evidente que incluam a parte subterrânea do mesmo, pelo que não foram consideradas. Algumas UCs podem não ter sido também incluídas por não terem os seus conteúdos programáticos acessíveis ao público exterior à comunidade académica.

As áreas científicas e tecnológicas em matérias de águas subterrâneas constantes na oferta formativa, numa primeira apreciação, são muito diversas (ver figura 3), traduzindo a adaptação ao objeto da formação ao nível de curso e a reconhecida grande diversidade de tópicos que são considerados importantes e associados a este recurso e em geral à Hidrogeologia (Gleeson et al. 2012).

CONCLUSÕES

Verificou-se a necessidade dos programas das UCs estarem disponíveis nos websites das instituições de modo a permitir a identificação dos conteúdos programáticos.

A literacia em águas subterrâneas está disponibilizada em mais profissionais licenciados e mestres em ciência e tecnologia do que à partida se esperaria. Estende-se também a outras áreas em que não era expectável estarem representados conhecimentos sobre águas subterrâneas, como por exemplo alguns cursos de Saúde, de Arqueologia e de Arquitetura.

Várias questões foram, entretanto, levantadas durante a pesquisa, motivando o potencial para o seu desenvolvimento futuro. A posterior inclusão da oferta formativa universitária ou politécnica não graduada e de cursos de doutoramento, assim como o detalhamento por tópicos das matérias curriculares adotadas nas UCs, permitirão aprofundar o presente estudo.

O estudo permite concluir que há formação superior distribuída pelo país e instituída nas mais diversas áreas de conhecimento e profissionais cobrindo todos os tópicos em matérias da água subterrânea. A perceção de que existe défice atual na capacidade de intervenção em matérias relevantes em que as águas subterrâneas têm papel essencial decorre de outros fatores, que não a indisponibilidade de profissionais e cientistas com formação superior com conhecimentos em águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barradas JJM, Silva MAM (1985) O Ensino da Investigação no Domínio da Hidrogeologia em Portugal: Estado actual e Perspectivas. *Geonovas*, 8/9, 151-156
- Conti KI, Velis M, Antoniou A, Nijsten G-J (2016) Groundwater in the Context of the Sustainable Development Goals: Fundamental Policy Considerations. Brief for GSDR – 2016 Update
- FAO (2016) Global Diagnostic on Groundwater Governance. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- Gleeson T, Allen DM, Ferguson G (2012) Teaching hydrogeology: a review of current practice. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 2159–2168
- Leyronas S, Maurel F, Rojat D, Giraud G (2016) Un cadre d’analyse pour la gouvernance des ressources naturelles. Le cas des eaux souterraines. *Revue d’économie du développement*, vol. 24, (3), 129-148

REFERÊNCIAS INTERNET

Direção-Geral do Ensino Superior, Pesquisa de Cursos e Instituições. Disponível em:

< https://www.dges.gov.pt/pt/pesquisa_cursos_instituicoes?plid=372 > Acesso entre 7 de dezembro de 2018 e 31 de janeiro de 2019

CARACTERIZAÇÃO DO HABITAT MARINHO DO PEPINO-DO-MAR (HOLOTHUROIDEA) NO ESTUÁRIO DO SADO E REGIÃO COSTEIRA DA SERRA DA ARRÁBIDA – RESULTADOS PRELIMINARES

Sabrina SALES¹, Maria Fernanda PESSOA¹, Graça BRITO¹, Ana POMBO², Helena LOURENÇO³, Narcisa BANDARRA³, Manuela SIMÕES¹

1. GeoBioTec, Faculdade de Ciências e Tecnologias (UNL), Departamento de Ciências da Terra (DCT), Quinta da Torre Monte de Caparica 2829-516 Caparica, mail: sabrina.sales@campus.fct.unl.pt; mfgp@fct.unl.pt; mgb@fct.unl.pt; mmsr@fct.unl.pt
2. MARE- Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, ESTM, Politécnico de Leiria, 2520-641 Peniche, mail: ana.pombo@ipleiria.pt.
3. Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), Divisão de Aquacultura e Valorização (DivAv), Rua Alfredo Magalhães Ramalho, 1495-165 Algés/Lisboa, mail: helena@ipma.pt; narcisa@ipma.pt

RESUMO

Os pepinos do mar desempenham importantes funções ecológicas nas comunidades marinhas. Em Portugal, apesar do pepino do mar não ser um produto típico da gastronomia, as capturas ilegais têm aumentado dado ao seu elevado valor. Pouco se sabe acerca da bioecologia destas populações em zonas de clima temperado. Estudos sobre as espécies exploradas comercialmente são de especial interesse pois os efeitos da pesca podem exercer um impacto negativo considerável em todos os processos ecossistémicos. O objetivo deste estudo foi conhecer as populações de pepino-do-mar da região de Setúbal e gerar dados iniciais do meio marinho onde estes animais se encontram. Das zonas analisadas, a zona costeira da Serra da Arrábida foi a que apresentou maior abundância e densidade de animais quando comparadas com outros estudos realizados na região sul de Portugal. A maior ocorrência parece estar dependente de vários fatores ambientais relacionados com o tipo de sedimento e com as características físico-químicas e batimétricas da coluna de água. O nicho ecológico do pepino-do-mar, nos locais de maior concentração de animais, sugere a existência de ambiente estuarino resultante da mistura de águas marinhas com águas continentais menos mineralizadas com abundante matéria orgânica e carga sólida fina (silte).

Palavras-Chave: pepino-do-mar, Parque Marinho Professor Luiz Saldanha, águas subterrâneas

1. INTRODUÇÃO

Os pepinos-do-mar, ou Holothuria, são equinodermes que desempenham importantes funções ecológicas no ambiente marinho, sendo consideradas espécies bioindicadoras de qualidade da água, para monitorizar por exemplo a presença de metais pesados (Warnau et al., 2006) e outras contaminações. Sempre existiu um elevado interesse pelo pepino-do-mar como recurso. Atualmente observa-se um crescimento ainda maior na sua procura dado o seu valor comercial que pode ultrapassar os 130,00 €/Kg (desidratado) (Ramón et al., 2010). Nas regiões temperadas a pesca incide mais sobre uma dada espécie e é feita com recurso a técnicas pesqueiras sofisticadas, enquanto que, nas regiões tropicais a apanha é indiscriminada e artesanal desencadeando grande pressão sobre o recurso bentónico. (Eriksson & Clarke, 2015). Pouco se sabe sobre a bioecologia do pepino-do-mar de águas temperadas (Conand, 2004). Em Portugal, os pepinos-do-mar não fazem parte da cultura gastronómica, sendo escassos os estudos sobre suas populações. No entanto, existe um crescente interesse na pesca das holotúrias em Portugal, tendo aumentado o número de capturas acima do estabelecido por lei (Gonzalez-Wangüemert et al., 2018). Compreender o papel ecológico das espécies é essencial para a preservação dos ecossistemas através da gestão da pesca, que visa manter os ecossistemas marinhos saudáveis e pesca sustentável. Neste contexto, este trabalho pretende fornecer dados iniciais acerca das características do ambiente aquático onde estes equinodermes preferencialmente habitam; insere-se num conjunto de estudos com vista a sugerir práticas piscatórias sustentáveis bem como recriar as condições adequadas para uma futura produção em cativeiro do pepino-do-mar como uma forma de preservar este recurso.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A região analisada está localizada no sudoeste de Portugal dentro dos 5300 hectares do Parque Marinho Professor Luiz Saldanha. Este parque é dividido em oito zonas com regulamentação que varia de regiões totalmente protegidas a parcialmente protegidas. Possui um elevado valor ecológico e constitui uma importante região costeira indispensável à criação e manutenção de espécies marinhas para todo o Atlântico Norte (Batista et al., 2001). Esta região é também importante na economia local da população devido, entre outras, à atividade piscatória. Para este estudo, a região foi dividida em três zonas com características ambientais semelhantes, sendo o início da primeira região o Calhau da Cova Jardim das Gorgónias até a jusante do Estuário do Sado (Z1, $\pm 30\text{km}^2$), sendo caracterizada por uma longa cadeia montanhosa (Serra da Arrábida) com 500 m de elevação (Rebêlo et al., 2009). A segunda região é o Estuário do Sado (Z2, $\pm 55\text{km}^2$) localizado na Península de Setúbal, é o segundo maior estuário português com 20 km de comprimento e 4 km de largura e uma profundidade média de 8 metros (Caeiro et al., 2005). A terceira e última região é a Península de Tróia (Z3, 20km^2) que forma uma barreira natural entre o Estuário do Sado e o Oceano Atlântico onde predominam dunas descontínuas (Rebêlo et al., 2009). Dentro da área de proteção total compreendida entre os Lagosteiros e a ponta de São Pedro na base da Serra do Risco, não foram realizadas amostragens (Fig. 1).



Fig. 1 – Localização da área de estudo na região sudoeste de Portugal, Setúbal e número de pepinos-do-mar nos pontos de amostragem: Z1 (A1-A10), Z2 (S1-S9) e Z3 (T1-T2).

2.2 Métodos de amostragem

Foram selecionados 23 pontos para amostragem de pepino-do-mar, sedimento e para caracterização físico-química da água; 10 pontos (A1-A10) na zona 1 (Z1), 9 pontos (S1-S9) na zona 2 (Z2) e 2 pontos (T1-T2) na zona 3 (Z3). Os locais foram escolhidos tendo em conta a maior heterogeneidade de habitats dentro das três zonas, com base no protocolo de amostragem Directiva Quadro da Água (INAG, I.P., 2008). Foram realizadas três campanhas de amostragem, a primeira (C1) a 21 de outubro de 2017, no Estuário do Sado e nos pontos A5 e A9; a segunda (C2) e a terceira (C3) na Península de Tróia e Serra da Arrábida, a 08 de dezembro de 2017 e a 20 de janeiro de 2018, respectivamente. A metodologia de amostragem dos bioindicadores e das amostras de água e de sedimento foi por *Quadrat Sampling* (Fanini e Lowry, 2016), os animais dentro do quadrado e as amostras de sedimento foram coletados por SCUBA (0-20m) com autorização legal do ICNF (Nº708/2017/CAPT). Para a caracterização ambiental, foram considerados os seguintes parâmetros: (i) relativamente às águas: profundidade de amostragem (*PROF*), temperatura (*TEM*), sólidos totais dissolvidos (*TDS*) e a salinidade (*SAL*); (ii) relativamente aos sedimentos: frações granulométricas (Wentworth *in* Alveirinho Dias, 2004) e a percentagem de matéria orgânica (*MO*). Os parâmetros da água foram quantificados através de sonda multiparamétrica (YSI 6920 V2-1, YSI Inc., Yellow Springs, OH) na coluna de água próximo do substrato.

2.3 Métodos de análise dos dados

Os métodos estatísticos utilizados para analisar os resultados consistiram: no método de regressão linear, método ANOVA, método de Kruskal-Wallis (K-W) (Ryan et al., 2005) e, quando necessário, o método pos-hoc de Dunn. Os testes de K-W permitiram a realização de comparações múltiplas entre as variáveis que apresentaram diferenças significativas entre elas. Relativamente aos parâmetros ambientais que são MOT e frações granulométricas do sedimento (silte – SIL e cascalho CAS) além dos métodos estatísticos acima descritos, foi também utilizada a técnica de Análise Factorial de Correspondências Múltiplas (AFCM) (Sousa e Sousa, 2000), que permitiu correlacionar os parâmetros ambientais e os dados dos animais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados um total de 186 animais tendo a Z1 uma frequência de ocorrência de 83,33% dos pontos amostrados. Na Z2 e Z3 não foram encontrados animais. Em relação à MO, a área costeira da Serra da Arrábida foi a região com maior concentração (\bar{x} 3,04%), seguida do Estuário do Sado (\bar{x} 2,18%) e Península de Tróia (\bar{x} 1,50%). Os valores máximos e mínimos dos parâmetros analisados foram os seguintes: MO 0% a 8.76%; PRO 0m a 20m; SAL 33.04 ppm a 35.19 ppm; CAS > 2mm; SIL < 0.063mm; T 14.2 °C a 21.3 °C; CON 41.2 mS/cm a 49.1 mS/cm; TDS 32.7 g/l a 34.6 g/l; BIC 0 a 86 pepinos do mar. Relacionando os dados de frequência dos pepinos do mar com os parâmetros ambientais, obteve-se o seguinte resultado recorrendo a análise fatorial de correspondências múltiplas (AFCM) (Fig. 2).

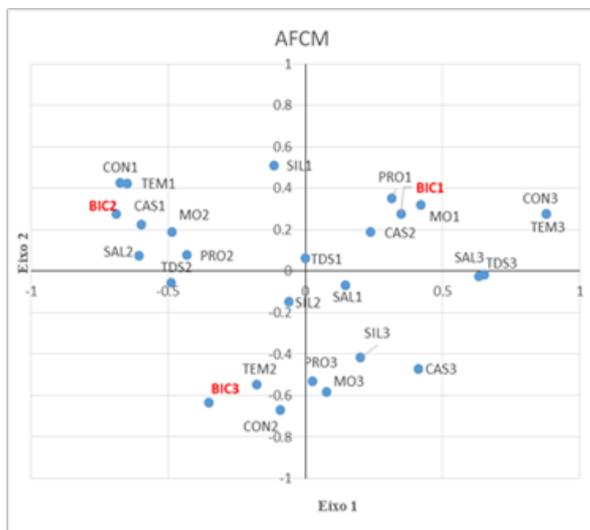


Fig. 2 – Análise fatorial de correspondências múltiplas (AFCM): associação dos pepinos do mar aos parâmetros ambientais CON, MO, PRO, TEM, TDS e SAL, representando três diferentes níveis de preferência BIC3> BIC2> BIC1.

Pela referida figura, é possível identificar a existência de três grupos de preferência para cada uma das variáveis, nomeadamente designados por: BIC1, BIC2 e BIC3/ MO1, MO2 e MO3/ PRO1, PRO2 e PRO3/ SAL1, SAL2 e SAL3/ CAS1, CAS2 e CAS3/ SIL1, SIL2 e SIL3/ T1, T2 e T3/ CON1, CON2 e CON3/ TDS1, TDS2 e TDS3. O grupo 1, de cada uma das variáveis representa o maior valor dos parâmetros analisados, o grupo 2 o valor médio e o grupo 3 os menores valores. De acordo com a análise dos resultados, a maior densidade de animais está relacionada com a maior concentração de matéria orgânica, silte e profundidade. A probabilidade de encontrar pepinos-do mar em ambientes pouco profundos, com baixa concentração de matéria orgânica é reduzida. No entanto foram encontrados alguns animais em ambientes com valores baixos a médios de cascalho no sedimento, matéria orgânica, profundidade, salinidade e condutividade elétrica.

4. CONCLUSÕES

Existe uma clara evidência de que a presença de pepinos-do-mar, na região estudada, se encontra associada à maior disponibilidade de matéria orgânica e sedimentos carreados do continente por escorrências de água superficial e/ou subterrânea (Zipperle & Reise, 2005). Esta coexistência poderá estar relacionada com os seus hábitos alimentares, uma vez que se alimentam maioritariamente a partir do sedimento (Slater et al., 2011; Yokoyama, 2013) e desta forma a sua distribuição pode ser influenciada pela disponibilidade de matéria orgânica. A profundidade e a salinidade também parecem ter um papel determinante na distribuição dos pepinos-do-mar nesta região, contudo são necessários mais estudos que permitam afirmá-lo uma vez que na costa portuguesa algumas espécies distribuem-se até ao intertidal e em zonas estuarinas. Considera-se ainda pertinente o desenvolvimento de estudos complementares que permitam localizar as zonas de confluência de escoamento superficial e/ou subterrâneo do continente para as águas marinhas litorais. A mistura com águas continentais altera significativamente o ambiente marino costeiro contribuindo, assim, para o zonamento, composição e vitalidade dos ecossistemas marinhos litorais (Encarnação et al., 2013; Cave & Henry, 2011; Moore, 1999).

AGRADECIMENTOS

Este projecto é financiado através da Bolsa de Doutoramento Ref. SFRH/BD/128813/2017 e pelo Projecto UID/GEO/04035/2013, ambos pela Fundação para Ciência e Tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista MI, Baeta F, Costa MJ, Cabral HN (2011) MPA as management tools for small-scale fisheries: The case study of Arrábida Marine Protected Area (Portugal) In: *Ocean & Coastal Management*. Volume 54, Issue 2, 137-147
- Caeiro S, Costa MH, Ramos TB, Fernandes F, Silveira N, Coimbra A, Medeiros G, Painho M (2005) Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators* 5, 151–169
- Cave RR, Henry T (2011) Intertidal and submarine groundwater discharge on the west coast of Ireland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92, 415-423 pp.
- Conand C, Byrne M (1994) Recent evolution of the world fisheries for sea cucumbers. *Mar. Fish. Rev.*, 55(4): 1–13
- Encarnação J, Leitão F, Range P, Piló D, Chicharo MA, Chicharo L (2013) The influence of submarine groundwater discharges on subtidal meiofauna assemblages in south Portugal (Algarve). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 130, 202-208
- Eriksson H, Clarke S (2015) Chinese market responses to overexploitation of sharks and sea cucumbers. *Biological Conservation* 184, 163–173
- Gonzalez-Wangüemert M, Domínguez-Godino JA, Canovas F (2018) The fast development of sea cucumber fisheries in the Mediterranean and NE Atlantic waters: From a new marine resource to its over-exploitation. *Elsevier: Ocean & Coastal Management* 151, 165-177
- INAG, IP (2008) Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva Quadro da Água Protocolo de amostragem e análise para os macroinvertebrados bentónicos. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I.P.
- Moore WS (1999) The subterranean estuary: a reaction zone of ground water and sea water. *Marine Chemistry* 65, 111-125
- Ramón M, Leonart J, Massutí E (2010) Royal cucumber (*Stichopus regalis*) in the northwestern Mediterranean: Distribution pattern and fishery. *Fisheries Research* 105, 21–27
- Rebêlo LP, Ferraz M, Brito PO (2009) Tróia peninsula evolution: the dune morphology record. *J. Coast. Res.*, SI56, 352-355
- Ryan BF, Joiner BL, Cryer JD (2005) *Minitab handbook*. Brooks/Cole Thomson 388 Learning, Belmont, CA. 550
- Sousa AJ, Sousa P (2000) Andad 7.12. Lisboa: CVRM/Instituto Superior Técnico.
- Warnau M, Dutrieux S, Ledent G, Rodriguez y Baena AM, Dubois P (2006) Heavy metals in the sea cucumber *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) from the Mediterranean Posidonia Oceanica ecosystem: Body compartment, seasonal, geographical and bathymetric variations. *Environmental Bioindicators*, 1: 268–285

CORK OAK TREE AND GROUNDWATER LEVELS: FILLING THE GAPS

Maria Paula MENDES¹, Augusta COSTA^{2,3}

1. CERIS, Civil Engineering Research and Innovation for Sustainability, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, mpaulamendes@tecnico.ulisboa.pt

2. CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisbon, Campus de Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal; 3. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. Quinta do Marquês, Av. da República, 2780-159 Oeiras, Portugal

ABSTRACT

The European Union Water Framework Directive states that the quantitative and qualitative status of groundwater may affect the ecological quality of surface waters and terrestrial ecosystems associated. Currently, groundwater management requires the maintenance of groundwater quantity and quality that sustain groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTs). Several studies have showed that tree ring chronologies can be related to trees roots access to groundwater in alluvial aquifers. In what concerns groundwater and particularly GWDTs issues, tree-ring research can be used in a wide range of applications, such as to evaluate the degree of dependency of trees on groundwater and their resilience to drought periods and, to assess global warming mitigation measures, e.g., afforestation and reforestation. Furthermore, even the bark (cork) rings of the cork tree (*Quercus Suber*) can record the annual groundwater level changes during the tree growth period. According to our studies, larger trees were more resilient and responsive to drought events than smaller trees. Moreover, their roots can reach deeper groundwater levels. Conservation strategies for cork oak woodlands growing in regions with temperate Mediterranean climate should target the conservation of the largest trees and should promote adequate forestry management that focuses on drought mitigation effects, especially in the smaller (younger) trees that are newly harvested for their cork in the recent afforestation areas.

Key-Words: Groundwater dependent terrestrial ecosystems; cork; drought; resilience; dendrochronology.

INTRODUCTION

At the beginning of the 20th Century, a USGS hydrogeologist by the name of Oscar E. Meinzer observed that the apparent location of the water table in reference to the land surface had a direct effect on plant occurrence and distribution. Meinzer (1927) examined plants as indicators of the presence of groundwater and concluded that some plants habitually use groundwater as water supply where others can utilize under certain circumstances. He designated these plants as phreatophytes, a word derived by the Greek, which means “well plant” and defined as “a plant that is literally as a natural well with pumping equipment, lifting water from the zone of saturation”. After this early work, T. W. Robinson (1958) defined phreatophytes as “plants that depend for their water supply upon groundwater that lies within reach of their roots”. Robinson (1958) considered that the phreatophytes could represent a tremendous waste since they use large amounts of groundwater. For him, there was a need to transform this consumptive waste in consumptive use.

Today, groundwater is perceived as a crucial freshwater resource for both socio-economic and environmental systems. All over the world, the cumulative effects of human activities on groundwater resources over the past years triggered a new mentality where, is recognized that the deterioration of the quality and quantity of groundwater has important environmental impacts, with a dramatic effect on the well-being of all segments of society. Groundwater is part of the hydrological cycle and it has hydraulic relationships with surface bodies; it can sustain a wide variety of aquatic and terrestrial ecosystems including those associated with river systems, wetlands, red gum forests, fens, springs, limestone cave systems, terrestrial vegetation such as phreatophytes, coastal, estuarine, near-shore, and marine areas. Groundwater dependent ecosystems can be defined as ecosystems which have their species composition and their natural ecological processes determined by groundwater (ARMCANZ and ANZECC, 2000). In the so-called groundwater dependent terrestrial ecosystems (GWDTs), trees use groundwater when unsaturated zone water becomes depleted and transpirational demand is high. Some trees rely on their deep root system to reach groundwater, decoupling their growth from seasonal fluctuations of precipitation, namely in Semi-Arid and

Mediterranean climates. As long as tree roots access the groundwater table, they can better withstand drought and maintain leaf water potential above critical thresholds for growth (Caldwell et al., 1998) while other parts of the root system in moister soil layers, usually at depth, are absorbing water. Here, we review the brief history of laboratory and field evidence supporting this phenomenon and discuss some of the consequences of this below-ground behavior for the ecology of plants. Hydraulic lift has been shown in a relatively small number of species (27 species of herbs, grasses, shrubs, and trees).

Montado is an agro-silvo-pastoral ecosystem where the dominant tree is the *Quercus Suber* (cork oak). Cork trees can use groundwater when shallow soil water becomes depleted and transpirational demand is high. These trees may exhibit a seasonal radial growth halted by the summer dry period or may continue growth throughout summer, depending on the severity of the experienced water stress (Costa et al., 2002, Cherubini et al., 2003, Costa et al., 2016). Depending on the magnitude and duration of the drought conditions, shallow groundwater levels will be deeper, affecting the capability of the trees' root to reach the saturated zone and, reducing plant growth. This may lead to cork oak dieback when the tree's ecological resilience is surpassed (Miller et al., 2010, Costa et al., 2015).

Measures to mitigate climate change such as afforestation and reforestation are discussed considering the results of two studies located in Companhia das Lezírias, where the cork trees' resilience to drought periods is studied.

CASE STUDY

Carro Quebrado plot has 15 ha of cork oak woodlands and is located at Companhia das Lezírias, S.A., in the Tagus Basin. According to Köppen's climate classification (Kottek et al., 2006), the climate is warm temperate, with a mean annual temperature of 15.3°C. The mean annual precipitation of 578 mm is concentrated on the winter season.

The study area is flat (slope typically less than 1 per cent), and the predominant soils are Haplic Arenosols.

The carro quebrado plot lie in the Tagus alluvium aquifer, which is unconfined and shallow and has a median transmissivity around 1500 m²/day (Almeida et al., 2000). The recharge is diffuse and corresponds to 33% of the mean annual precipitation (PGBH Tejo, 2010, Almeida et al., 2000).

RESULTS

Cork-ring widths of *Quercus Suber* have proved to be very sensitive to year-to-year climatic variability (Caritat et al., 1996). Figure 1 shows that during the severe drought of 2005 (i.e. April and September 2005 and extreme drought in May and July), the cork growth index is reduced. In 2004, with moderate summer drought, no negative effect on cork yield was found in both areas, showing that groundwater acts as a critical buffer against the impact of the dry season (June–September). The smallest average cork growth index of 0.6 (corresponding to a loss in cork yield around 40%) was observed during the dry season when the water table dropped below the mean value of -2.5 m (Mendes et al., 2016).

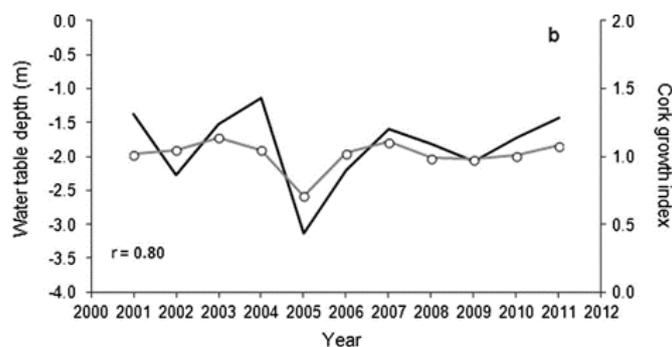


Fig. 1 - Interannual variations of mean water table depth (m) in the dry period (black solid line) and cork growth index (grey solid line with white circles) for the complete growth years within a full cork production cycle, for the 11-complete years at Carro Quebrado (2001–2011). This plot is located in Companhia das Lezírias, mainland Portugal (Mendes et al., 2016).

Mendes et al., 2019 studied the monthly mature cork trees diameter growth responses to climate, considering large and small trees located at Carro Quebrado plot. In this study, the cork (bark) and trunk growth were jointly considered since tree stem diameter increment was measured monthly using dendrometers.

An unsupervised machine learning algorithm was used to differentiate the response of 47 trees' growth patterns, grouping trees with the same temporal behaviour. Discrete wavelet extraction was used to improve clustering analysis. The k-medoids algorithm, filtered out five clusters.

Figure 2 shows the intra-annual (monthly) basal area increment (BAI) above or below the total average BAI (i.e. considering $n=47$ trees) for cluster #4 (10 trees) and cluster #5A (9 trees). Cluster #4 is composed by the smallest trees (i.e. the younger trees) and, cluster#5A is formed by the oldest trees (i.e. the larger trees). These two clusters have opposite behavior where cluster#4 had the majority of BAI values negative and cluster#5A had positive values.

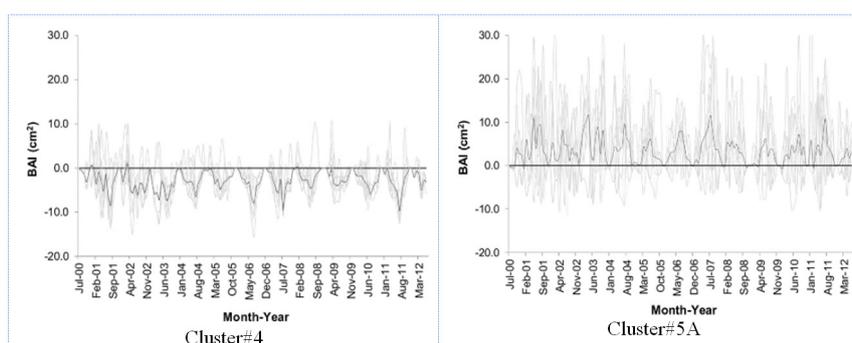


Fig.2- Intra-annual (monthly) basal area increment, BAI (2000–2012) (in cm^2) of the 47 cork oaks discriminated by clusters. Grey lines are for each tree and black lines are for trees average per cluster. BAI values below (negative) and above (positive) the average BAI (in cm^2).
Adapted from Mendes et al., 2019.

FINAL CONSIDERATIONS

According to these studies, drought-driven growth sensitivity is related to tree-size. Moreover, smaller trees (corresponding to younger stages), displayed lower BAI values. Larger trees were more resilient and responsive to drought events than smaller trees. In fact, older trees intensified and extended radial growth in the dry semester, which occurred between the onset of the growing season till the end of summer and before the full depletion of soil moisture (Ghalem et al., 2018). These larger trees extended their vegetative growth period until early autumn by reaching the groundwater, even at its deepest depths (Mendes et al., 2016).

Conservation strategies for cork oak woodlands growing in regions with temperate Mediterranean climate should target the conservation of the largest trees and should promote adequate forestry management that focuses on drought mitigation effects, especially in the smaller (younger) trees that are newly harvested for their cork in the recent afforestation areas.

FUNDING

OakRegeneration project (Promoting agricultural set aside areas toward new oak natural regeneration hotspots) which is supported by FEADERPDR2020 (Grant number: PDR2020-101-031071) and the project UID/AMB/04085/2013 which is supported by national funds through the Foundation for Science and Technology, I.P.

REFERENCES

MEINZER, O. E. (1927). Plant as indicator of Ground Water. Water-Supply paper 577. Disponivel em: <https://pubs.usgs.gov/wsp/0577/report.pdf>, acesso em 9 fevereiro de 2019

- ROBINSON, T. W. (1958). Phreatophytes. GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1423 <https://pubs.usgs.gov/wsp/1423/report.pdf>, acesso em 9 fevereiro de 2019
- ARMCANZ AND ANZECC (2000). PAPER No. 4- Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, Volume 1. The Guidelines. (Chapters 1–7). Disponível em: <http://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/Documents/ANZECC-ARMCANZ-2000-guidelines-voll.pdf>, acesso em 9 fevereiro de 2019
- CALDWELL, M. M., DAWSON, T. E., & RICHARDS, J. H. (1998). Hydraulic lift: consequences of water efflux from the roots of plants. *Oecologia*, 113(2), 151–161. <https://doi.org/10.1007/s004420050363>
- COSTA A, PEREIRA H AND OLIVEIRA A (2002). Influence of climate on the seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. *Ann. For. Sci.*, 59 (4) (2002), pp. 429-437, 10.1051/forest:2002017
- CHERUBINI P, GARTNER B, TOGNETTI R, BRAKER O, SCHOCH, W AND INNES J (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biol. Rev.*, 78 (1), pp. 119-148, 10.1017/S1464793102006000
- COSTA A., BARBOSA I., ROUSSADO C., GRAÇA J., SPIECKER H. (2016). Climate response of cork growth in the Mediterranean oak (*Quercus suber* L.) woodlands of southwestern Portugal. *Dendrochronologia*, 38, pp. 72-81, 10.1016/j.dendro.2016.03.007
- CARITAT A., MOLINAS M., GUTIERREZ E., Annual cork-ring width variability of *Quercus suber* L. in relation to temperature and precipitation (Extremadura, Southwestern Spain), *For. Ecol. Manage.* 86 (1996) 113-120.
- MILLER G.R., CHEN X., RUBIN Y., MA S., BALDOCCHI D.D.(2010). Groundwater uptake by woody vegetation in a semiarid oak savanna. *Water Resour. Res.*, 46 (10), p. W10503, 10.1029/2009WR008902
- COSTA A., NUNES L.C., SPIECKER H., GRAÇA J. (2015). Insights into the responsiveness of cork oak (*Quercus suber* L.) to bark harvesting. *Econ. Bot.*, 69 (2), pp. 171-184, 10.1007/s12231-015-9305-z
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B. AND RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3), 259–263.
- ALMEIDA C., MENDONÇA J.J.L., JESUS M.R., GOMES A.J. (2000). *Sistemas Aquíferos De Portugal: Aluviões Do Tejo (T7)* Instituto Nacional da Água, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, Lisboa
- PGBH Tejo, (2010). *Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo <<River Basin Management Plan of Tagus River>> Versão Extensa – Parte 2: Caracterização e Diagnóstico da Região Hidrográfica.* ARH Tejo, IP, 376 pp (in Portuguese)
- MENDES, M. P., RIBEIRO, L., DAVID, T. S., & COSTA, A. (2016). How dependent are cork oak (*Quercus suber* L.) woodlands on groundwater? A case study in southwestern Portugal. *Forest Ecology and Management*, 378, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.024>
- MENDES, M. P., CHERUBINI, P., PLIENINGER, T., RIBEIRO, L., & COSTA, A. (2019). Climate effects on stem radial growth of *Quercus suber* L.: does tree size matter? *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92(1), 73–84. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpy034>
- GHALEM, A., BARBOSA, I., BOUHRAOU, R.T. AND COSTA, A. 2018 Climate signal in cork-ring chronologies: case studies on southwestern Portugal and northwestern Algeria. *Tree-Ring Res.* 74 (1), 15–27.