

Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe
Coruña. 2004. Vol. 29, pp. 9-30

Geometria, cinemática e dinámica diapírica da morfoestrutura do Vimeiro (Torres Vedras, Portugal central): implicações para um modelo hidrogeológico

Diapiric geometry, kinematics and dynamics of Vimeiro morphostructure (Torres Vedras, central Portugal): implications for a hydrogeological model

CHAMINÉ, H. I.¹; FONSECA, P. E.²; CARVALHO, J. M.³; AZEVEDO, M.⁴;
GOMES, A.⁵ e TEIXEIRA, J.⁶

Abstract

The paper summarizes the studies performed at the Vimeiro hydromineral concession (Torres Vedras, Central Portugal) and the surrounding area of Maceira–Praia do Porto Novo. Those studies included geotectonical, geomorphological and hydrogeological synthesis that were intended to delineate a hydrogeological conceptual model. The site characterisation was supported by a geophysical survey and was essential to plan borehole execution in terms of location, orientation and depth.

Key words: Diapiric fracturation, geological exploration, tectonics, applied hydrogeology, Portugal

- (1) Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto. Rua Dr. António Bernardino de Almeida, N^o 431, 4200-072 Porto. Portugal, e Centro de Minerais Industriais e Argilas (MIA) da Universidade de Aveiro. (hic@isep.ipp.pt)
- (2) Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências de Lisboa de Lisboa e Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental (LATTEX), Ed. C6, 2^o Piso, Campo Grande, 1748-016 Lisboa, Portugal.
- (3) Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Apartado 94, 7001 Évora, Portugal.
- (4) Empresa das Águas do Vimeiro, Lda., Lisboa, Portugal
- (5) Departamento de Geografia, Faculdade de Letras da Universidade do Porto, e Gabinete de Estudos de Desenvolvimento e Ordenamento do Território (GEDES). Via Panorâmica, s/n, 4150-564 Porto. Portugal.
- (6) Centro de Minerais Industriais e Argilas da Universidade de Aveiro. Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro. Portugal.

1. INTRODUÇÃO

O trabalho que agora se apresenta constitui uma síntese dos estudos de prospecção geológica e hidrogeológica desenvolvidos na concessão hidromineral HM-44 do Vimeiro (Torres Vedras, Portugal Central) e áreas adjacentes (Maceira-Praia do Porto Novo). Os estudos efectuados incluíram uma síntese geológica, geomorfológica e hidrogeológica, com uma forte componente de geologia estrutural e tectónica. O objectivo final do estudo visava a caracterização e o estabelecimento de um modelo conceptual hidrogeológico para apoiar o projecto de trabalhos de pesquisa e captação para vários fins: água mineral natural de dois tipos, água para abastecimento público e para rega e ainda água salgada. Deste modo, o trabalho de índole morfoestrutural era não só importante como até fundamental na compreensão da complexa área em estudo. Este modelo à escala do afloramento, apoiado pela campanha de geofísica em curso, foi decisivo para a planificação do projecto das sondagens de pesquisa e captação, em termos de localização, de atitude e de profundidade (TARH, 2003).

O acesso à área do local de prospecção e pesquisa designado Termas do Vimeiro, na localidade de Maceira, é feito a partir de Ados-Cunhados, pela estrada secundária asfaltada, E.N. 247, que liga essa povoação aos centros urbanos da Lourinhã e de Torres Vedras (FONTES, 2002).

Um aspecto curioso na região, prende-se com uma acesa polémica judicial nos anos 30 do século XX (CMTV, 1939), sobre a foz do rio Alcabrichel que corre junto às povoações do Vimeiro e da Maceira, tornada célebre pelo desembarque das tropas inglesas e pelo combate que aí se travou entre os

exércitos luso-ingles e francês em 1808 (e.g., GIRÃO, 1960; ANACLETO, 1973; BROWN, 1995; FONTES, 2002). Este problema está sintetizado na obra de Girão (1960) e, excepcionalmente, bem documentado nas alegações proferidas no tribunal judicial de Torres Vedras no trabalho publicado pelo Pelouro Cultural da Câmara Municipal (CMTV, 1939). A essência deste problema refere-se a uma reivindicação de direitos sobre um ilhéu com cerca de sete hectares de superfície, cuja posse foi disputada pelo Estado e por três Sociedades particulares. A análise desta questão prende-se também com a evolução do litoral nas últimas centenas de anos, que pode dar achegas preciosas para o problema de captação de água salgada e mesmo para o da captação de água potável no troço terminal do rio Alcabrichel entre a Fonte dos Frades e a costa Atlântica (fig. 1). GIRÃO (1960) explanou de uma forma incisiva a problemática anterior do seguinte modo (cf. Fig. 1):

“(...) Em frente da foz do citado rio Alcabrichel, existia um ilhéu (que de Ilhéu Grande só hoje conserva o nome) ainda com restos de fortificação antiga, construída outrora, segundo parece, para defender a costa da pirataria mourisca. Mas a foz do rio, a Foz Velha, ficava muito mais para o interior, aproximadamente no ponto onde se comprimem as curvas de nível, conforme pode ver-se na nossa gravura. Com o decorrer dos tempos, tanto o mar como o rio foram operando larga sedimentação de materiais, e veio o referido ilhéu a ficar ligado à terra por uma língua de areia; em parte dele construíram-se casas e barracões de pescadores, que para tal fim obtiveram autorização das competentes repartições do Estado. Como ainda hoje sucede na foz do rio Minho com a sua Ínsua, o rio Alcabrichel abrangia em certa altura o ilhéu, com duas

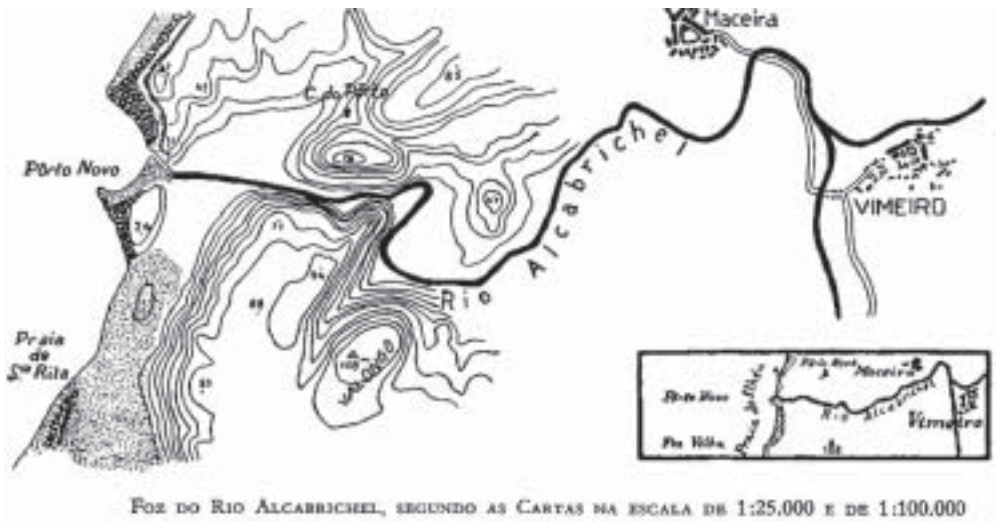


Figura 1. Topografia da região envolvente da foz do rio Alcabrichel, segundo as cartas topográficas na escala 1/25.000 e de 1/100.000 (segundo GIRÃO, 1960).

saídas para o mar — uma ao norte e outra ao sul dele; mas esta última foi por fim obstruída, ficando a funcionar apenas a do norte. Ao S. do ilhéu, ficou assim um terreno alagadiço e arenoso — os salgados ou salgadiços — antigo domínio marinho e braço morto do rio, onde outra Foz-Velha (“fóz velha”, porque deixou de o ser) se localizou também, como demonstra o esboço mais pequeno da nossa gravura, desenhado segundo a Carta de Portugal na escala de 1 :100.000 (1867).

Com estas alterações profundas da topografia do solo, e natural confusão que delas resultou, veio a área do ilhéu a ser descrita num inventário orfanológico como propriedade particular, talvez sem comprovada má-fé de quem o fazia. Em 1937, um particular solicitou ao Estado autorização e começou a construir uma casa para recolha de aprestos de pesca na Praia do Ilhéu, agora já só tornada designação geográfica, na enseada de Porto Novo (esta designação da Carta Militar de Portugal na escala de 1:25.000, publicada em 1939, contraposta a designação

idêntica da Carta de 1:100.000, publicada em 1867, basta para nos testemunhar outro Porto Velho existente mais para o interior ou, melhor, como a foz do rio e os estabelecimentos de navegação ou de pesca com ela relacionados iam sucessivamente emigrando para Oeste); e vieram os pretensos proprietários do Ilhéu embargar a obra e pôr a questão no Tribunal.

A confusão de terrenos, e de limites, e de designações geográficas, podia levar neste caso à confusão de direitos, com manifesto prejuízo para o Estado; as alterações litorais, anexando um ilhéu que era do domínio público a terrenos particulares, e modificando por completo a morfologia do solo, corriam o risco de operar neste caso uma autêntica expropriação por utilidade... particular; mas surgiu nesta altura um representante do Ministério Público, inteligente e decidido, que não se limitou ao estudo de gabinete da questão. Veio para o local, levantou plantas da região, fez tirar fotografias, algumas delas aéreas — parece que, se recorreu então a este meio, pela primeira vez em Portugal, para fins judiciais

— e o problema foi colocado nos seus devidos termos. Nas suas alegações, o douto magistrado viu com clareza que “a denominação de Ilhéu Grande, hoje geograficamente imprópria, tem a sua explicação no facto de as águas do rio Alcabrichel antigamente se misturarem, junto da Pedra Amarela, com as do mar, como que abraçando o Ilhéu; formando hoje um dos braços a Foz Nova, e o outro, denominado, impropriamente hoje, a Foz Velha; braço este assoreado, como assoreada foi a profunda e larga lagoa com salda para o mar, que, ainda no século IX, existia abrigada na Praia de Santa Rita”. Do que fica dito, duas conclusões poderemos tirar: se os cursos de água são linhas de demarcação geralmente tomadas como limites de propriedades, podem ser na sua bacia inferior, sob certos aspectos, dos menos satisfatórios; e quando a delimitação por eles estabelecida, por motivo de modificações experimentadas, dá origem a questões de direito, sempre a inteligência das coisas geográficas, como sucedeu de maneira bem evidente no caso referido, poderá contribuir para o bom funcionamento da justiça. (...)” (pp. 108 a 110, in GIRÃO, 1960).

A concessão do Vimeiro ocupa uma área de 121ha e situa-se em parte na bacia hidrográfica do rio Alcabrichel. As actividades actualmente desenvolvidas são o termalismo e o engarrafamento, havendo dois balneários termais e duas oficinas de engarrafamento. Na concessão existem dois tipos de água, a saber: (i) a que é utilizada no Balneário da Fonte de Santa Isabel situado na parte Nordeste da concessão, no centro da povoação da Maceira e nas oficinas de engarrafamento, e, (ii) a da Fonte dos Frades que é utilizada no Balneário da Fonte dos Frades, situado cerca de 1400 m para SW. As águas do Vimeiro são muito mineralizadas, típicas das regiões de tectónica diapírica, como é o caso presente: (i) a Fonte

de Santa Isabel tem uma mineralização total de cerca de 1100mg/l e condutividade eléctrica de 1550_Scm⁻¹, e (ii) a Fonte dos Frades alcança 3300mg/l e condutividade eléctrica de 4830_Scm⁻¹. A presença de evaporitos (sal-gema), e fenómenos geológicos associados, determina o carácter cloretado-bicarbonatado sódico para as águas minerais naturais do Vimeiro. A temperatura de emergência alcança 26°C, aspecto comprovativo de circulação profunda, pois a temperatura média do ar é de 15,1°C.

A região em estudo enquadra-se, na sistematização das províncias climáticas de Portugal continental (DAVEAU, 1985; O. RIBEIRO *et al.*, 1987b), na região marítima e província Atlântica média (litoral Oeste). Esta província corresponde a uma área de plataforma litoral, mais ou menos acidentada, parte integrante da fachada Atlântica Oeste, caracterizada por um Inverno algo suave (*ca.* 9-12°C), com trovoadas frequentes, brisas da terra e do mar, e por um Verão quente e fresco (*ca.* 20°C), com um a dois meses secos. A precipitação anual média ronda os 600-800mm nas zonas de maior altitude. inclui nomeadamente as estações climatológicas de Caldas da Rainha e de Torres Vedras

As características climáticas da região de Maceira-Vimeiro podem ser aproximadas pela informação da estação climatológica de Torres Vedras (MENDES & BETTENCOURT, 1980), conforme segue: (i) Precipitação anual média: 758mm, (ii) Temperatura: 15,1°C, (iii) Evapotranspiração real: 479mm, e, (iv) Excedentes: 279mm.

A área que foi objecto de estudo não ultrapassa os 113 metros de altitude (v.g. do Outeiro do Seixo). São ainda de assinalar os pontos notáveis designados por v.g. de

Valongo (110m), v.g. do Moinho das Mós (89m) e v.g. do Cabeço da Rainha (82m).

2. CONSTRANGIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS E GEOTECTÓNICOS

A geologia do sector de Maceira–Praia do Porto Novo (SE de Torres Vedras) é dominada pela ocorrência de rochas sedimentares, de competência litológica diversa (calcários, margas, arenitos, argilitos, aluviões, areias de duna e de praia, etc.; *cf.* CHOFFAT, 1882, 1893, 1903-04; FREIRE de ANDRADE, 1933, 1937; SEIFERT, 1958, 1963; FRANÇA *et al.*, 1961; WILSON, 1989; HILL, 1989; WILSON *et al.*, 1989; MANUPPELLA *et al.*, 1999), e incluídas tradicionalmente na Orla Meso-Cenozóica Ocidental Portuguesa (e.g., TELLES ANTUNES *et al.*, 1979; RIBEIRO, 1984; RIBEIRO *et al.*, 1990).

A região de Maceira–Praia de Porto Novo (SE de Torres Vedras) enquadra-se, *sensu lato*, a sudoeste dos contrafortes do maciço calcário da Serra de Montejunto (666m) e incluída na unidade de paisagem da Estremadura meridional, junto à orla litoral (O. RIBEIRO *et al.*, 1987). Encontra-se enquadrada do ponto de vista geomorfológico regional na designada plataforma litoral entre Peniche e a vertente Norte da Serra de Sintra (RAU & ZBYSZEWSKY, 1949; DAVEAU, 1973). Um dos aspectos mais marcantes neste domínio é a regularidade relativa da plataforma a Sul de Peniche sendo apenas interrompida pela depressão diapírica de Maceira (RAU & ZBYSZEWSKY, 1949), elemento morfoestrutural constituinte do sector terminal da bacia do rio Alcabrichel onde o entalhe na plataforma pode chegar a

desníveis topográficos superiores a 100 m (TRINDADE, 2001).

O rio Alcabrichel nasce na vertente ocidental da Serra de Montejunto possuindo uma bacia hidrográfica que não ultrapassa 180km² (fig. 2). Este rio entalha a plataforma mesozóica litoral, de constituição litológica arenítico-argilosa e calcária. Possui um regime hidrológico permanente, mas em regra pouco caudaloso. Em alguns troços deste curso de água definem-se planícies aluviais, superior a 500 m (como, por exemplo, na Várzea dos Frades), o que poderá denunciar uma grande capacidade de transporte durante episódios de cheias.

Na Orla Meso-Cenozóica Portuguesa é frequente a ocorrência de acidentes tectónicos (fig. 3) que apresentam uma assinatura morfoestrutural típica que se manifesta por vastas áreas afectadas por acções diapíricas (e.g., CHOFFAT, 1893; FREIRE de ANDRADE, 1939, CARRÍNGTON da COSTA, 1944; ROMARIZ, 1960; RIBEIRO *et al.*, 1990) intrinsecamente associados à abertura do Proto-Atlântico (WILSON *et al.*, 1989). A primeira referência a estas estruturas deve-se a CHOFFAT (1893) designando-as por vales tifónicos. Assim, estes vales correspondem a depressões originadas por erosão diferencial, em áreas com estrutura, geralmente, em antiforma, onde os fenómenos diapíricos colocaram em contacto rochas de reologia/competência e idade muito diferentes (FREIRE de ANDRADE, 1893; CARRÍNGTON da COSTA, 1944; ROMARIZ, 1960). Os complexos diapíricos distribuem-se, no nosso país, em várias áreas — áreas tifónicas ou diapíricas — mais ou menos nítidas e importantes, de maneira geral, em toda a Orla Meso-Cenozóica, sendo evidente a sua relação com as camadas salíferas e argilosas, muito plásticas

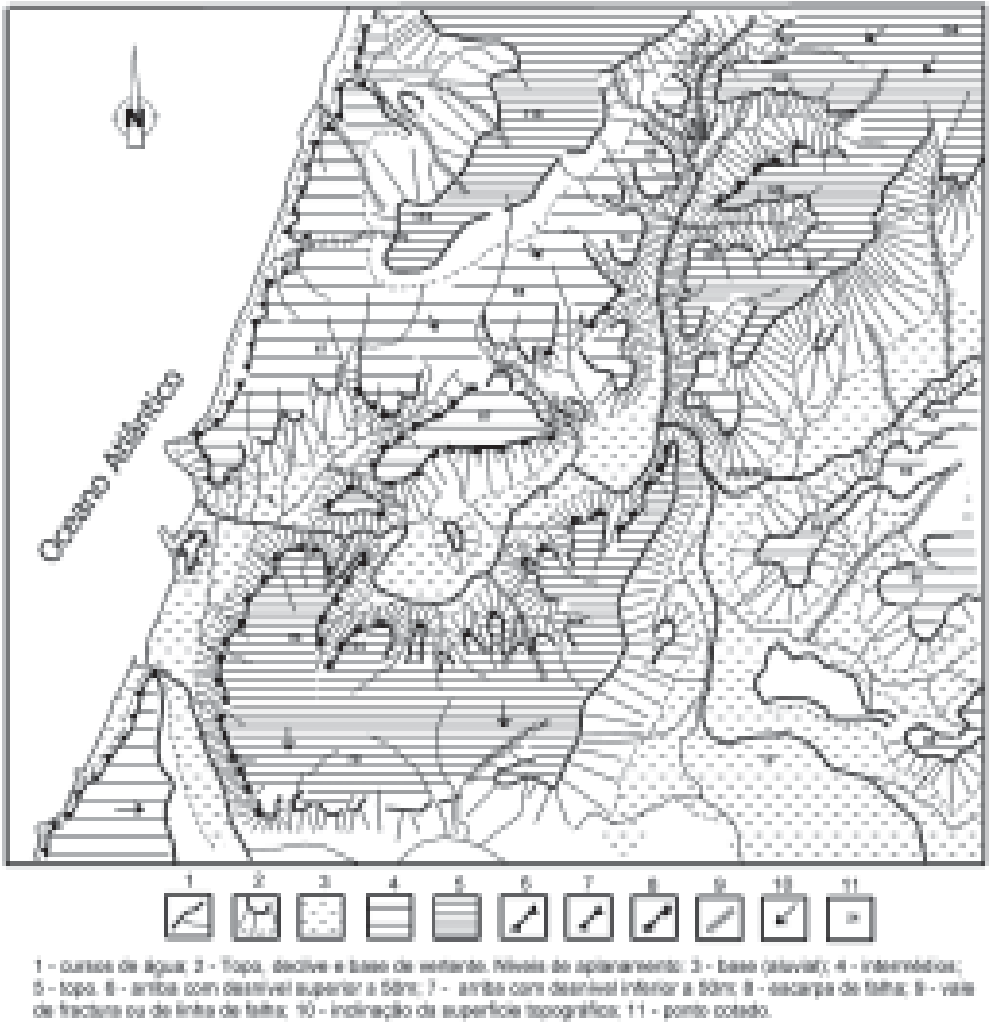


Figura 2. Esboço morfoestrutural do sector da Praia de Porto Novo-Maceira-Vimeiro, sector terminal da bacia do rio Alcabrichel (adaptado e reinterpretado de TRINDADE, 2001).

(ROMARIZ, 1960). Do ponto de vista morfoestrutural o diapiro do Vimeiro é uma megaestrutura cuja formação e abertura está directamente relacionada com uma génese tectónica, tomando a designação de diapiro tectónico. A estrutura diapírica em questão, de orientação geral NNE-SSW, desenha à escala cartográfica um sigmóide

de grandes proporções, de caudas assimétricas.

A disposição dos materiais litológicos e os alinhamentos tectónicos no sector terminal da bacia do rio Alcabrichel determinam a morfoestrutura regional presente na área em estudo (TRINDADE, 2001). Assim, registam-se nos materiais uma variação

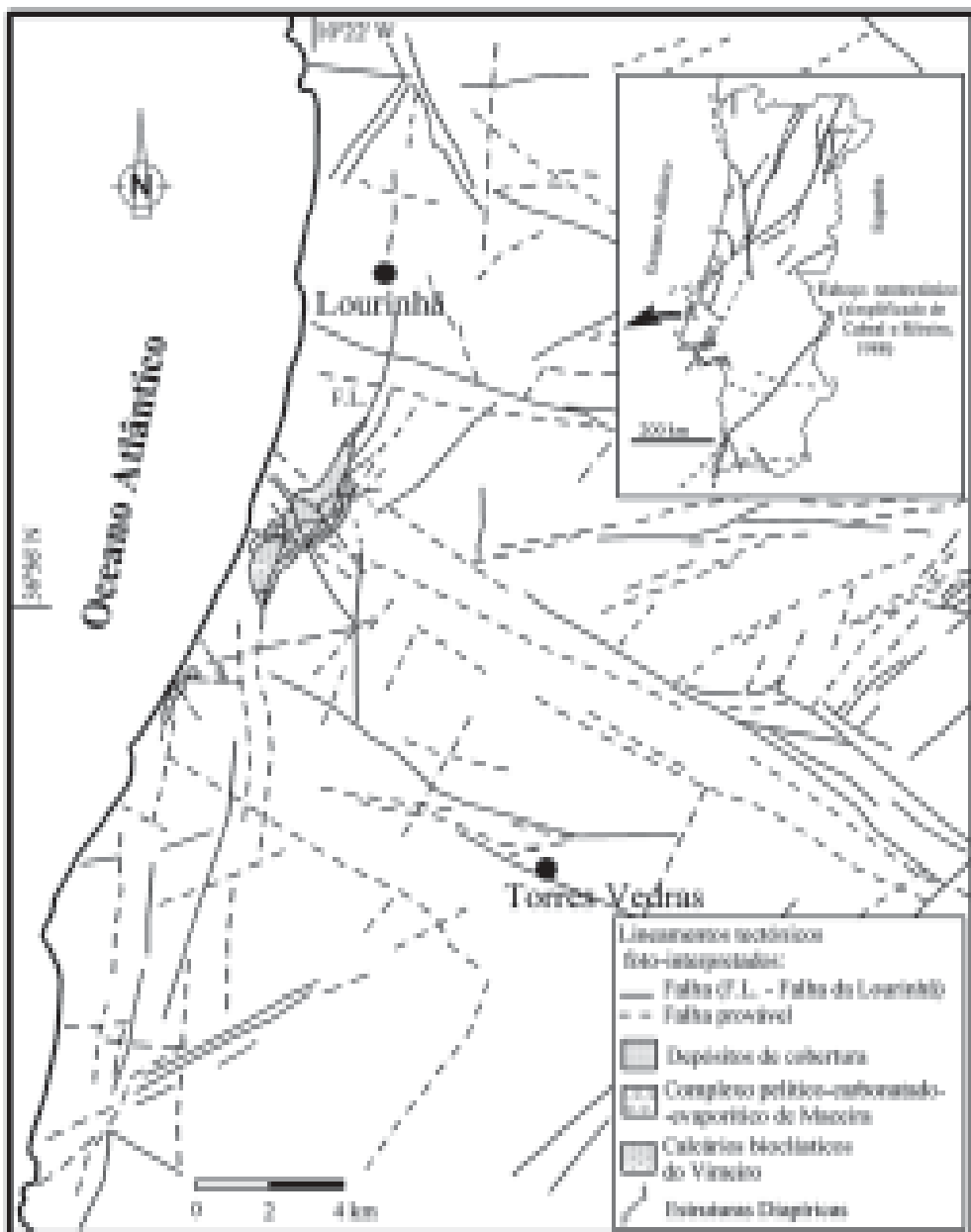


Figura 3. Esboço dos principais lineamentos tectónicos na região de Lourinhã-Torres Vedras: a estrutura diapírica de Maceira (adaptado de SEIFERT, 1958, 1963; CONDE, 1983; CABRAL & RIBEIRO, 1988).

assinalável na inclinação das camadas geológicas, i.e., valores da estratificação subhorizontal (a SW da povoação de Ribamar) a valores subverticais (a SSE-SE de Maceira). Este sector da bacia do rio Alcabrichel é caracterizado por um contexto tectónico assaz complexo, associado à presença de uma estrutura diapírica regional, de idade jurássica (Hetangiano), que toma a designação de diapiro (ou vale tifónico) de Maceira (CHOFFAT, 1882, 1893; FREIRE de ANDRADE, 1933, 1937).

3. TRAÇOS GERAIS DA MACROESTRUTURA: O DIAPIRO DE MACEIRA

Do ponto de vista morfoestrutural o diapiro de Maceira (também referenciado na literatura geológica como diapiro do Vimeiro) é uma megaestrutura cuja formação e abertura está directamente relacionada com uma génese tectónica, i.e., tomando a designação de diapiro tectónico (VAIL & CRAMEZ, 1990). A estruturação típica apresenta, em regra, com ocorrência de falhas de grande envergadura e expressão regional são responsáveis, não só pela sua génese, como pela sua abertura. A estrutura diapírica em questão, de orientação geral NNE-SSW, desenha à escala cartográfica um sigmóide de grandes proporções e de caudas assimétricas. As terminações assimétricas e quase-lineares, possuem uma direcção geral N-S, enquanto o corpo do diapiro propriamente dito onde a maior abertura e ascensão se faz sentir, possui uma direcção ENE-WSW.

Os dados da sismoestratigrafia (BAPTISTA, 1999 *in*: MANUPPELLA *et al.*, 1999) permitem inferir que a estrutura

da Lourinhã enraíza no substrato e tem, provavelmente, uma geometria lítrica, sendo uma megaestrutura que condicionou fortemente a sedimentação. Assim, esta estrutura delimita, a Oeste, as fácies de transição marinhas-continentais até totalmente continentais; a Este, da estrutura da Lourinhã, dominam as fácies marinhas profundas especialmente durante o Kimeridgiano. Os acidentes transversais NNE-SSW terão sido gerados pela tectónica salífera e, no caso das falhas de direcção média NW-SE, por inversão tectónica durante a orogenia Alpina (RIBEIRO *et al.*, 1990).

O complexo diapírico de Maceira tem características visivelmente assimétricas em relação à sua abertura nas zonas de maior expressão. Essa assimetria é sobretudo notória no seu ramo central onde o flanco S-SE possui inclinações entre a vertical e os 75°SE (devido ao substrato plástico-diapírico as inclinações podem localmente apresentar características de flancos inversos, ou seja, com inclinações da ordem dos 75°NW); enquanto o flanco NW da mesma estrutura mostra inclinações mais suaves que tendem em média para os 30°-45°NW.

Este facto indicia uma forte componente direita de idade tardi-Varisca (gerando a forma e o aspecto sigmoidal da estrutura diapírica) com um rompimento dramático no ramo S-SE do sigmóide já referido. Posteriormente, com a rotação do campo de tensões durante a Orogenia Alpina (RIBEIRO, 1984; JABALOY *et al.*, 2002) para as direcções de compressão na Ibéria (RIBEIRO *et al.*, 1990), o diapiro salino controlado por processos de ascensão por halocinese, funciona sempre em regime sinistrogiro, reactivando os acidentes prévios direitos com uma movimentação esquerda de gran-

de importância regional (RIBEIRO *et al.*, 1990; JABALOY *et al.*, 2002).

As falhas de direcção N-S funcionam como falhas de transferência de movimentação esquerda entre estruturas diapíricas, enquanto os bordos N e S, respectivamente, funcionam como falha normal a Norte e cavalgamento de alto ângulo de inclinação (para N) a S. Estes factos associados a uma catástrofe intensa em planos esquerdos de direcção ESE (e com componente cavalgante no bordo S), comprovam uma abertura esquerda de origem diapírica (de tipo “push-up”; RIBEIRO *et al.*, 1990) de grande importância associada a uma compressão de direcção NNW-SSE. Esta componente de cisalhamento esquerda, associada à tectónica de instalação diapírica, em que a halocinese é um elemento também de extrema importância, concorrendo para o actual aspecto desmembrado e enrugado deste diapiro. Outras evidências do aspecto repartido desta estrutura são, por exemplo, os numerosos restos de estruturas de natureza calcária quase verticalizadas que poderão corresponder a “roof-pendants” característicos de sectores da Orla Meso-Cenozóica Ocidental (como em Porto de Mós, Alcaria, etc.).

A análise da fotografia aérea, apoiada com a análise morfoestrutural regional, do sector entre a Praia do Porto Novo e Maceira revelou a presença de uma rede de fracturação regional secundária, associada a falhas regionais de primeira grandeza (e.g., ‘falha ou estrutura de Lourinhã’; *cf.* SEIFERT, 1958, 1963; REY 1993; MANUPPELLA *et al.*, 1999), bem como os alinhamentos diapíricos constituído pelas extrusões salíferas de Bolhos, de Maceira e de Santa Cruz, injectados segundo a estrutura da Lourinhã e as estruturas a ela associados. Os

estudos geológicos, em regiões contíguas a Torres Vedras (e.g., WILSON *et al.*, 1989, RIBEIRO *et al.*, 1990, PINHEIRO *et al.*, 1996; REY, 1993; KULLBERG & KULLBERG, 2000), ilustram a existência destes sistemas estruturais à escala regional.

Convém destacar que tanto as estruturas (falhas e lineamentos tectónicos) de orientação geral NNE-SSW como as estruturas conjugadas de direcção ENE-WSW têm uma manifestação, do ponto vista local, relativamente intensa. Assim, as mega-descontinuidades fotointerpretadas, e reconhecidas no terreno, constituem fundamentalmente dois sistemas de fracturação regionais: i) N-S a NNE-SSW (sistema associado à falha da Lourinhã) e conjugadas W-E a ENE-WSW; ii) NNW-SSE a NW-SE e conjugadas ENE-WSW a NE-SW.

4. A ESTRUTURA LOCAL: CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMECÂNICAS

O reconhecimento da geologia de campo e da cartografia geológico-estrutural de pormenor efectuado na área em estudo permitiu caracterizar em afloramento, principalmente a heterogeneidade litológica, o estado de alteração e a fracturação local do maciço. Procedeu-se igualmente à execução de um estudo geológico e hidrogeológico, a diferentes escalas, de modo a entrosar-se toda a informação disponível e recolhida durante os trabalhos de campo, quer da área de prospecção fundamental quer da zona envolvente.

Na caracterização e descrição geológica pormenorizada da área recorreram-se às técnicas básicas da geologia de campo, da geologia estrutural e da hidrogeologia aplicada (e.g., McCLAY, 1987; FETTER, 2001;

GONZÁLEZ de VALLEJO et al., 2002). No estudo da fracturação e da alteração local procedeu-se ao levantamento sistemático das descontinuidades (estratificação, diaclases, falhas, etc.) em afloramento, com base na terminologia e nos critérios definidos e recomendados, quer pela ‘*International Society of Rock Mechanics*’ (ISRM, 1978, 1981) quer pelo ‘*Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow*’ (CFCFF, 1996), para estudos da compartimentação de maciços rochosos.

O trabalho de campo permitiu uma sistematização das descontinuidades com características hidrogeomecânicas em dois tipos fundamentais: uma superfície planar fundamental (estratificação) e fracturas (*s.l.*). No caso da estratificação teremos, em termos geomecânicos, a considerar localmente (em especial na Unidade calcária do Vimeiro) duas situações distintas: i) superfície planar activa, em que as descontinuidades se encontram fechadas (preenchidas e colmatadas) por brechificação (catáclase) e/ou cimentação (precipitação de minerais de neo-formação), sem humidade; ii) superfície planar activa, em que as descontinuidades se encontram abertas, à escala centimétrica a métrica, e em regra preenchidas por material silto-argiloso de cor avermelhada (terra-rossa); geralmente estas últimas descontinuidades devido à forte impermeabilização não apresentam humidade.

Uma das famílias de descontinuidades de maior interesse na região do ponto de vista de circulação de águas corresponde às próprias superfícies de estratificação activas. Este facto é motivado pela movimentação das descontinuidades, umas em relação às outras, aquando do dobramento regional.

Estas superfícies de descontinuidade, marcadamente de contraste litológico, vão ser reactivadas durante a instalação do diapiro e o dobramento concomitante, sobretudo derivado da ascensão do material de idade hetangiana (no qual se incluem as fácies da “Unidade das Margas da Dagorda”, *sensu* FRANÇA et al., 1961). Deste modo, os planos de anisotropia referenciados como estratificação tornam-se extremamente activos. Esta movimentação sin-tectónica entre estratos vai ser muito favorecida pela existência dos tais planos prévios de anisotropia entre estratificações consecutivas. A catáclase intrínseca a este movimento vai produzir uma micro-catáclase e “pulverização” de material facilmente removido pela circulação de água, permitindo que exista uma limpeza de todas estas descontinuidades e tornando-as zonas preferenciais de percolação de água.

No caso das fracturas (*s.l.*) foram reconhecidas, fundamentalmente, no campo dois tipos: i) superfícies planares inclinadas (80° para Sul), com preenchimento de carbonatos de neo-formação, de espessura decimétrica a centimétrica; ii) superfícies planares sub-horizontais (20° para Sul ou Este), preenchidas, à escala centimétrica, por material calcário muito poroso. A intersecção de estratificação com a fracturação penetrativa permite, em muitos casos, uma organização ou estruturação cársica que também não é de menosprezar aquando da avaliação da rede de fracturação/vazios deste diapiro.

As figuras 4, 5 e 6 sintetizam de uma forma esquemática o explanado anteriormente, recorrendo-se a blocos diagramas, registos em furos e perfis geológicos interpretativos.

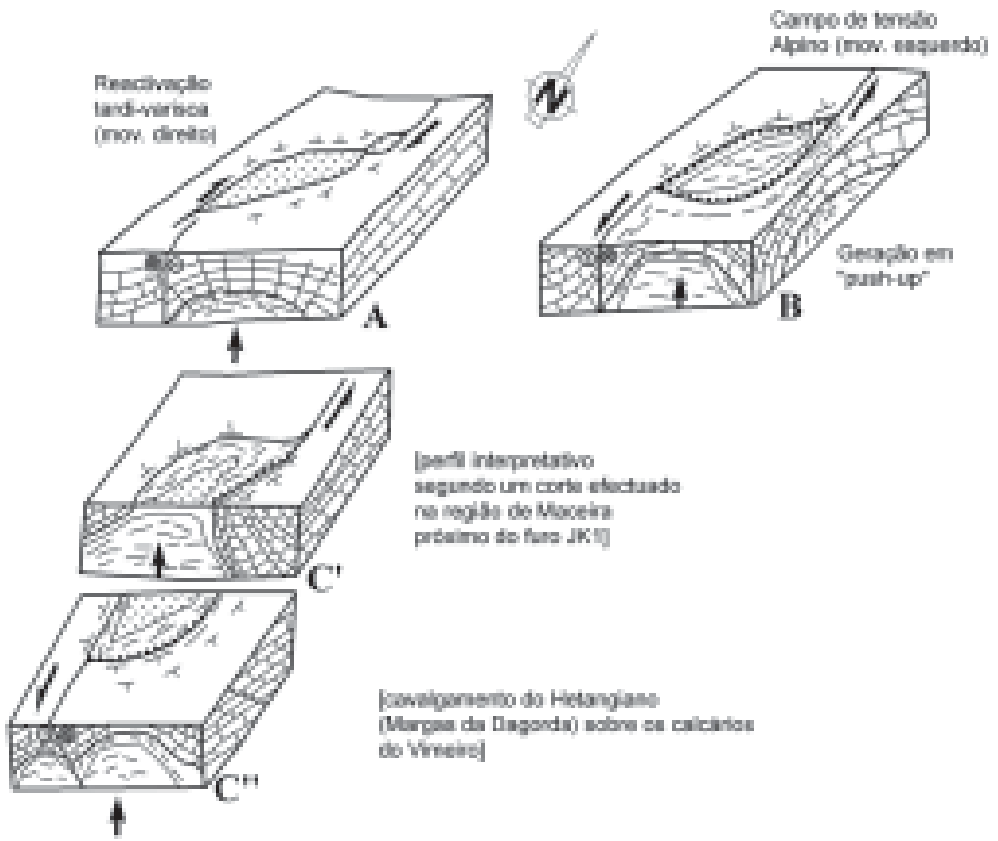


Figura 4. Blocos diagramas interpretativos da evolução geotectónica do diapiro de Maceira.

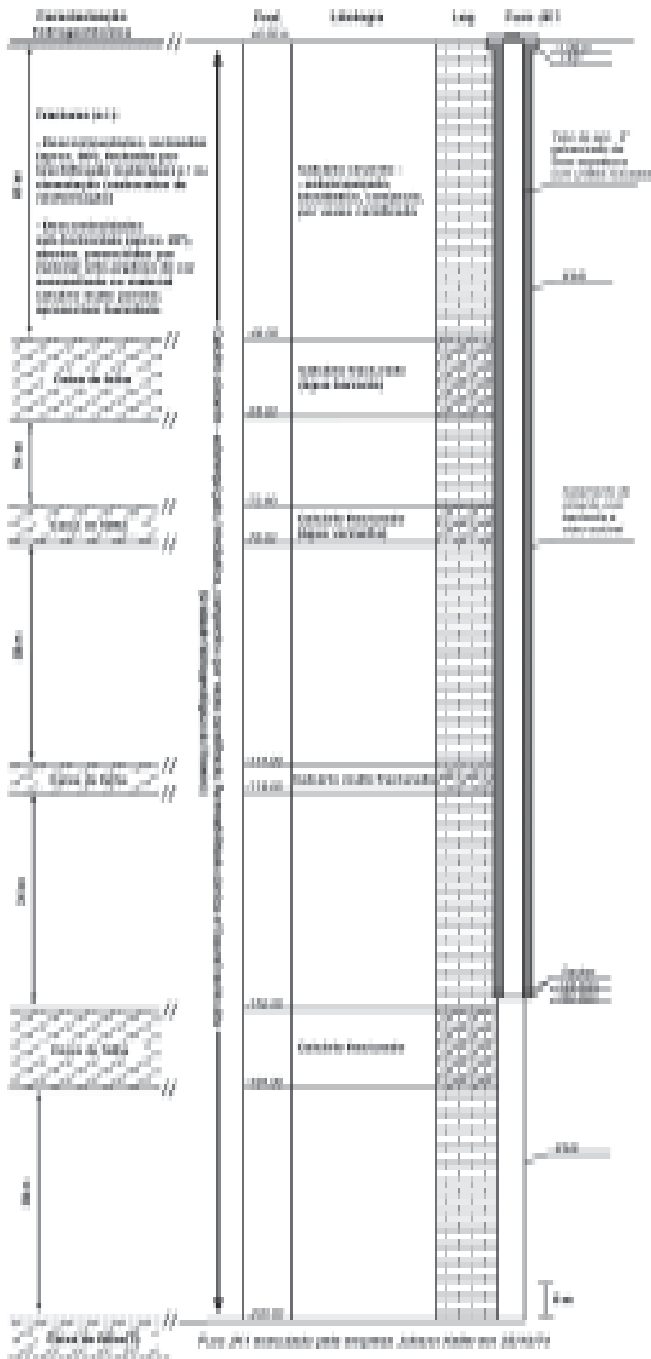


Figura 5. Caracterização e interpretação hidrogeotécnica do furo JK1 (Vimeiro).

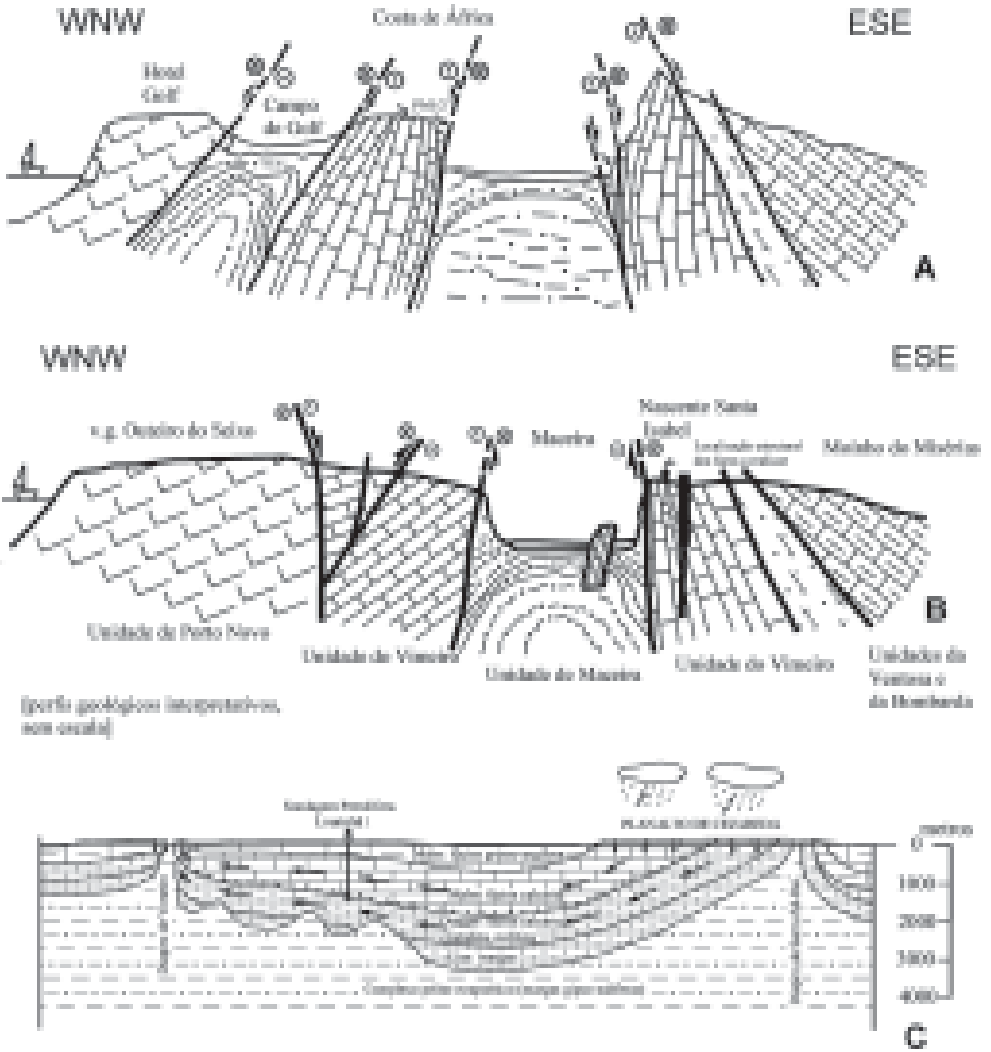


Figura 6. Perfis geológicos interpretativos da estrutura diapírica de Maceira (A, B) e perfil hidro-geológico esquemático (C; reinterpretado de SEIFERT, 1963).

5. PROSPECÇÃO HIDROGEOLÓGICA

5.1. Considerações iniciais

Na concessão hidromineral do Vimeiro são identificáveis, actualmente, as captações de água tipo Santa Isabel e Fonte dos Frades. As águas do Vimeiro são indicadas especialmente para dispepsias hipoácidas, atonias intestinais e doenças dos rins e da pele (e.g., NARCISO, 1947; ACCIAIUOLI, 1947, 1952/53; CONTREIRAS 1951; AZEVEDO, 2001).

CHOFFAT (1893) refere que “(...) cinco nascentes surgem do calcário do Jurássico superior que rodeia a pequena área tifónica da Maceira”. Acrescenta depois: “Em 1880 eram exploradas três nascentes no lugar dito Águas Santas, na margem esquerda do ribeiro e uma quarta existia 100 a 200 passos para Este. Na margem direita encontra-se uma quinta, de que não tive conhecimento senão depois da minha visita, mas que deve estar nas mesmas condições. A sexta nascente encontra-se a cerca de 1km mais longe, perto de Sertorius, na margem esquerda do ribeiro. Neste ponto o calcário reduz-se a uma espessura de poucos metros” (...). “Enquanto que as águas de Águas Santas praticamente não têm sabor, as desta última nascente tem um gosto de tal maneira desagradável que leva os habitantes a não a utilizarem como água para beber”. (...) “As águas de Águas Santas têm uma mineralização média de 826mg/l-segundo o Dr. Lourenço...”. P. Choffat acrescenta, depois, referindo-se ao Dr. Tavares “(...) que o caudal das nascentes mostraria oscilações diurnas atribuíveis às marés.”, e que temperatura variaria entre 25,5°C e 24°C, respectivamente segundo o Dr. Agostinho Vicente Lourenço e o Dr. Tavares.

A descrição do insigne geólogo Paul Choffat, volvidos mais de 110 anos, continua a revelar uma precisão extraordinária, i.e., as três nascentes da margem esquerda referem-se, seguramente, ao conjunto Fonte de Santa Isabel – Furo do Largo. A quarta estaria na zona onde o geólogo H. Seifert, em 1974 (quicá inspirado na descrição de P. CHOFFAT de 1893), decidiu efectuar o furo TD1 abandonado não por falta de água mineral, mas por impossibilidade de avanço, ainda com supermartelo (percussão pneumática de superfície). A sexta nascente é claramente a Fonte dos Frades.

ACCIAIUOLI (1947, 1952/53) refere que o conhecimento das Águas Santas do Vimeiro remonta à segunda década do século XIX (Banhos do Convento de Penafirme; Claramonte). Este autor reporta claramente a ocorrência destas nascentes às unidades margosas Hetangianas e, ao contacto entre estas, e os Calcários do Vimeiro (por esta ordem de importância). Refere que existem nascentes em ambas as margens do rio Alcabrichel. Contudo, inclui três nascentes na margem esquerda do rio Alcabrichel que designa por ‘Fonte Santa’, ‘Buvette’ e ‘Fonte Nova’ (a mais mineralizada). Tendo em conta a localização cartográfica apresentada fácil é concluir que a Fonte Nova corresponde à actual Fonte dos Frades e a Fonte Santa à nascente Fonte de Santa Isabel. A terceira localização é claramente a do Furo ou Poço do Largo e corresponderia à ‘Buvette’. Terá alguma vez o Furo do Largo funcionado como ‘Buvette’? Este autor acrescenta que “la source en exploitation est captée par le système d’une large plaque de béton sur le griffon, évitant l’infiltration des eaux phréatiques”. Esta descrição ajusta-se bem ao que ainda hoje se pode ver na Fonte de Santa Isabel.

5.2. As unidades hidrogeológicas locais

A região foi objecto, pelo menos desde 1950 (e.g., SEIFERT, 1958, 1963; FRANÇA *et al.* 1961; ZBYSZEWSKI & BARRETO de FARIA, 1971; TD, 1974; ACAVACO, 1974; SP 1995; MANUPPELLA *et al.*, 1999; BELBETÕES, 2002; BAPTISTA, 2002), de estudos geofísicos e de sondagens mecânicas (pesquisa de sal, hidrocarbonetos, hidrogeológicas e geotécnicas), o que contribuíram para o refinamento da geologia de subsuperfície. Resultados de duas campanhas de pesquisa de água para abastecimento público promovidas pela então Direcção dos Serviços de Salubridade nos anos de 1957 e 1962 (arquivos da DRAOT e do IGM) contribuem também para o conhecimento hidrogeológico da área. Alguns destes elementos bibliográficos anteriormente referidos foram analisados e integrados à luz dos objectivos que norteiam o presente estudo (TARH, 2003).

Na apresentação dos dados de geologia de terreno optou-se por estruturar a informação litológica com incidência para o estudo hidrogeológico em três sub-setores (figura 7):

- **sub-sector 1** (Ribamar–Praia do Porto Novo–Bombardeira): engloba as rochas sedimentares cujas fácies variam desde grés margosos/margas até níveis grés-argilosos/argilas que afloram ao redor da estrutura diapírica de Maceira. De uma forma muito sumária poder-se-á dizer que estas unidades apresentam um comportamento hidrogeológico semelhante, i.e., nas Unidades da Bombardeira e Ventosa o tipo de permeabilidade é fissural a mista, enquanto que a unidade de Porto Novo é mista.

- **sub-sector 2** (Maceira–Vimeiro): corresponde à mancha calcária e grés margosos da região de Maceira–Vimeiro e ao núcleo da estrutura diapírica constituído pelo complexo pelítico-carbonatado-evaporítico (i.e., fácies “Margas da Dagorda”, *sensu* FRANÇA *et al.*, 1961; SEIFERT, 1963), designado localmente por unidade hidrogeológica de Maceira. A Unidade hidrogeológica do Vimeiro constitui na região extenso afloramento entre os lugares do Casal da Serra e Casais da Fonte (figura 8). É constituído por calcários cinzento-esbranquiçados, por vezes fortemente bioclásticos, no geral maciços e por vezes carsificados (CHOFFAT, 1893; FRANÇA *et al.*, 1961; SEIFERT, 1963). Esta unidade constitui o bordo da estrutura diapírica de Maceira. As águas do Vimeiro, particularmente as do tipo Santa Isabel, descarregam comprovadamente destes calcários de comportamento cársico e fissural. A Unidade hidrogeológica da Maceira corresponde ao diapiro da Maceira, o qual é constituído, essencialmente, por argilas gipsíferas e salíferas, margas vermelhas e esverdeadas profundamente brechificadas. Nesta unidade foram referenciados níveis de calcários dolomíticos (CHOFFAT, 1893; FRANÇA *et al.*, 1961; MANUPPELLA *et al.*, 1999), de espessura decamétrica. Esta unidade apresenta uma importância geológica fulcral, visto funcionar como uma barreira hidrogeológica impermeável. As águas do Balneário de Santa Isabel emergem nos calcários do Vimeiro e muito próximo ao limite geotectónico com as rochas do diapiro de Maceira, que funcionariam como camada confinante; enquanto que na Fonte dos Frades não é claro que os Calcários do Vimeiro joguem o mesmo papel. O Complexo pelítico-carbonatado-evaporítico apresenta,

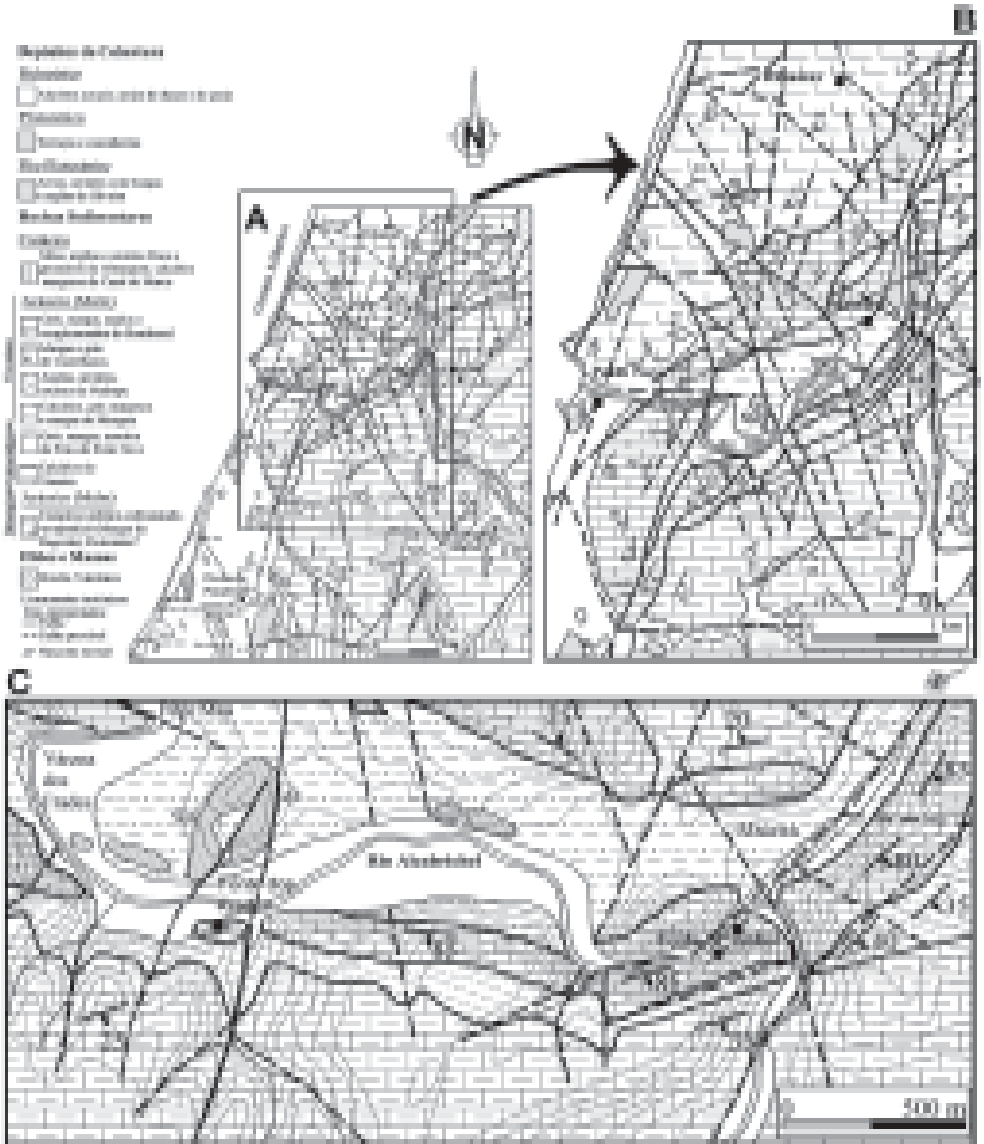


Figura 7. Mapas hidrogeológicos da morfoestrutura do Vimeiro (mapas A, B; base geológica: SEIFERT, 1958, 1963; FRANÇA *et al.*, 1961; MANUPPELLA *et al.*, 1999) e esboço geológico dos pólos de Santa Isabel e de Fonte dos Frades, entre as localidades de Maceira e do Pego Mau (mapa C; reinterpretado de ACCIAIOLI, 1952/1953).

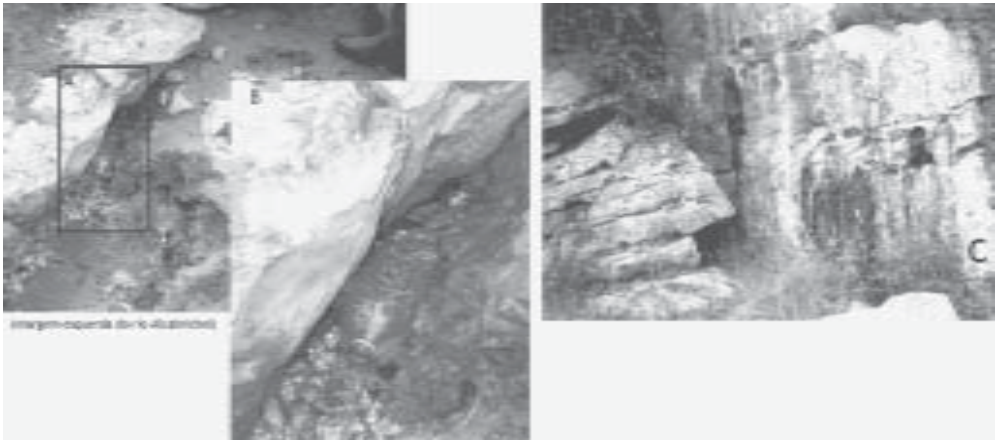


Figura 8. Aspectos de uma nascente inventariada, no decurso da campanha de prospecção hidrogeológica, e designada como a nascente do Pego Mau (margem esquerda do rio Alcabrichel; foto tirada em 27/09/2002): A. aspecto geral da nascente de Pego Mau; B. pormenorda nascente; C: Unidade hidrogeológica do Vimeiro (calcários do Vimeiro), em que se observa a emergência de água pelas discontinuidades.

como seria de esperar um comportamento de camada confinante.

- **sub-sector 3** (Praias do Porto Novo e de Santa Rita–Vimeiro): definido pela zona mais aplanada do vale aluvionar de Maceira (denominado localmente por várzea dos Frades) e depósitos associados ao rio Alcabrichel e à ribeira de Ribamar; os depósitos de cobertura tipo areia de praia e de duna, e sistemas dunares, foram incluídos neste sub-sector. O vigoroso relevo calcário do C. do Pitagudo (90m) e do v.g. do Cabeço da Rainha (82m) da região circundante a Leste de Maceira contrasta com diversas áreas tectonicamente deprimidas, de orientação geral N-S a NE-SW, e constituindo diversas planícies aluviais. Na planície aluvial da Várzea dos Frades acumulam-se depósitos silto-argilosos e mesmo níveis de cascalheiras que constituem localmente solos agrícolas. Esta planície aluvial constitui, neste trabalho, a unidade hidrogeológica designada por

Unidade da Várzea dos Frades, sendo um sistema com permeabilidade intersticial alta.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocorrência das várias nascentes do Vimeiro (em particular, a de Santa Isabel e da Fonte dos Frades) no bordo da estrutura diapírica regional de Maceira tem importantes implicações para a definição do modelo conceptual do sistema hidromineral na zona de descarga. Como foi referido, estas emergências localizam-se em rochas de natureza calcária (Unidade do Vimeiro), junto ao contacto geológico com a unidade margo-evaporítica da Maceira. As nascentes referenciadas ocorrem, inequivocamente, associadas a nós tectónicos materializados pela intersecção de estruturas regionais de orientação média NNE-SSW (subparalela à falha regional da Lourinhã), NW-SE e NE-SW.

O controlo litoestrutural (paleo-tectónico e neotectónico), quer à escala regional quer à escala local, está bem patente pelas características hidrogeomecânicas do maciço rochoso calcário relativamente carsificado. Os materiais margo-evaporíticos da Unidade da Maceira apresentam características hidrogeomecânicas típicas de uma estrutura barreira impermeável. De notar que estes materiais podem localmente incluir bancadas, de possança considerável, de calcários dolomíticos e ainda associados a uma estrutura tectónica de orientação média NW-SE. Veja-se, por exemplo, a flagrante posição litoestrutural local da emergência da Fontes dos Frades.

A síntese dos estudos efectuados permitiu situar espacialmente, dentro e fora da concessão hidromineral, pólos homólogos para futuros trabalhos de pesquisa e captação (TARH, 2003).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Empresa das Águas do Vimeiro S.A., na pessoa do Dr. António Espírito Santo Salgado, a autorização para a publicação deste trabalho.

São devidos agradecimentos aos Srs. Renato Pinto, João Ricardo e Filipe Estanislau, no apoio ao trabalho de campo. De louvar a colaboração do Sr. Orlando Isidro de Jesus, com a cedência de importantes elementos bibliográficos históricos sobre as Termas do Vimeiro. De salientar, ainda, a disponibilidade de todos os moradores na região pela cordial recepção nas suas propriedades aquando do trabalho de campo.

HIC recebeu apoio parcial pelo projecto PRAXIS XXI-SFRH/BPD/3641/2000. Este estudo recebeu apoio do projecto MODELIB/FCT (POCTI/35630/CTA/2000-FEDER). Gratos a vários colegas por informações das suas especialidades sobre a região do Vimeiro, em particular, ao Dr. J. M. Trindade e à Prof^a. A. Ramos Pereira (Dep. Geografia, FLUL), ao Dr. Rui Baptista (PetroGal Exploration), ao Prof. Fernando T. Rocha (Univ. Aveiro) e ao Eng. Carlos Arrais (ISEP). Um agradecimento especial vai também para a Dra. M. J. Coxito Afonso (ISEP) pela leitura crítica do manuscrito.

Recibido: 15-1-2004

Acceptedo: 20-7-2004

REFERÊNCIAS

- ACAVACO – Sondagens e Fundações Lda (1974). *Furo de pesquisa e eventual captação de água no Vimeiro. Relatório final*. Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda, Lisboa. 3 pp., 2 anexos (relatório inédito).
- ACCIAIUOLI L. M. C. (1947). *Hidrologia Portuguesa (1943-1946)*. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa. 286 pp.
- ACCIAIUOLI L. M. C. (1952/1953). Le Portugal Hydromineral. *Direction générale des Mines et des Services Géologiques*, Lisbonne, I volume, 284 pp.; II Volume, 574 pp.
- ANACLETO P. G. (1973). História de um pequeno porto do litoral português. *Comunidades Portuguesas*, 30: 1-23.
- AZEVEDO M. (2001). *Plano de exploração*. Empresa das Águas do Vimeiro, Lda, Lisboa. 74 pp., 3 anexos. (relatório inédito).
- BAPTISTA R. (2002). A Exploração de petróleos. In: HEITOR M., BRITO J. M. B. & ROLLO M. F., coords., *Engenho e Obra: engenharia em Portugal no séc. XX*. Editora D. Quixote.
- BELBETÕES – Fundações e Betões Especiais (2002). *Iperplano, gestão, planeamento e fiscalização de obras. Empreitada de: "Hotel Golfmar-Vimeiro". Relatório geotécnico (RG 1385)*. Belbetões – Fundações e Betões Especiais, Lda. 8 pp., 3 anexos. (relatório inédito).
- BROWN N. (1995). The impact of climate change: some indications from History, AD 250-1250. *OCEES Research Paper*, Oxford, 3: 1-61.
- CABRAL J. & RIBEIRO A. (1988). *Carta neotectónica de Portugal Continental*, escala 1/1000000, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- CARRÍNGTON da COSTA J. (1944). Vales tifónicos, diapirismo e algumas considerações sobre a ocorrência dos sais de potássio. *Anais Faculdade de Ciências do Porto*, 29: 137-153.
- CHOFFAT P. (1882). Note préliminaire sur les vallées tiphoniques et les éruptions d'ophite et de teshénite en Portugal. *Bull. Soc. Géol. France*, 10 (3^e Sér.): 267-295.
- CHOFFAT P. (1893). Contributions à la connaissance géologique des sources minéro-thermales des aires mésozoïques du Portugal. *Publ. Minist. Obras Públicas, Comércio e Indústria, Imprensa Nacional*, Lisboa, 136 pp., 6 figuras.
- CHOFFAT P. (1903-1904). L'Infralias et le Sineemuriem du Portugal. *Commun. Comm. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 5: 49-114.
- CONDE L. E. N. (1983). *Mapa de fracturas de Portugal (Memória Descritiva)*. EDP. 118 pp., 4 mapas na escala 1/500000. (inédito).
- CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*. National Research Council, National Academy Press. 568 pp.
- CONTREIRAS A. (1951). *Manual hidrologico de Portugal*. Edição da Empresa Nacional de Publicidade, Lisboa. 73 pp.
- CMTV – CÂMARA MUNICIPAL DE TORRES VEDRAS (1939). *Em defesa do património nacional, alegações proferidas no tribunal judicial de Torres Vedras pelo Exmo. delegado do procurador da república Senhor Dr. Augusto Paes de Almeida e Silva na Acção Ordinária*. Edição da Biblioteca Municipal de Torres Vedras, 40 pp.
- DAVEAU S. (1973). Quelques exemples d'évolution quaternaire des versants au Portugal. *Finisterra*, 8: 1-47.
- DAVEAU S. [coord.] (1985). Mapas climáticos de Portugal. Nevoeiro e nebulosidade. Contrastes térmicos. *Mem. Centr. Estud. Geogr.*, Lisboa, 7: 1-72 (2 mapas, escala 1/1000000).
- FETTER C. W. (2001). *Applied hydrogeology*. 4rd Edition. Prentice Hall, New Jersey. 598 pp.
- FONTES J. L. I. [coord.] (2002). *A-dos-Cunhados: itinerários da memória*. Edição Pró-Memória, 575 pp.
- FRANÇA J. C., ZBYSZEWSKI G. & ALMEIDA F. M. (1961). Notícia explicativa da folha 30-A (Lourinhã), Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, 27 pp.
- FREIRE de ANDRADE C. (1933). O Hetangiano de Santa Cruz, do Vimeiro, dos Cucos, e de Serro Ventoso e algumas considerações sobre os vales tifónicos. *Boletim Museu Laboratório Mineralógico Geológico da Universidade de Lisboa*, 2 (1^a série): 119-132.
- FREIRE de ANDRADE C. (1937). Os vales submarinos portugueses e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa. 236 pp.
- GIRÃO A. A. (1960). *Geografia de Portugal*, 3^a Edição. Portucalense Editora, Porto, 510 pp.
- GONZÁLEZ de VALLEJO L. I., FERRER M., ORTUÑO L. & OTEO C. (2002). *Ingeniería geológica*. Prentice Hall, Madrid. 715 pp.
- HILL G. (1989). Distal alluvial fan sediments from the upper Jurassic of Portugal: controls on their

- cyclicly and channel formation. *J. Geol. Soc.*, London, 146: 539-555.
- ISRM – International Society of Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 15, 6: 319-368.
- ISRM – International Society of Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. *Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr.*, 18: 85-110.
- JABALOYA, GALINDO-ZALDÍVAR J. & GONZÁLEZ-LODEIRO F. (2002). Palaeostress evolution of the Iberian Peninsula (Late Carboniferous to present-day). *Tectonophysics*, 357: 159-186.
- KULLBERG M. C. & KULLBERG J. C. (2000). Interpretação tectónica de um conjunto de lineamentos WNW-ESE observados em imagens LANDSAT da margem Ibérica. In: Tectónica das regiões de Sintra e Arrábida. *Mem. Geociências, Mus. Hist. Nat. Univ. Lisboa*, 2: 85-101.
- MANUPPELLA G., ANTUNES M. T., PAIS J., RAMALHO M. M. & REY J. (1999). Notícia explicativa da folha 30-A (Lourinhã), Carta Geológica de Portugal, escala 1/50000, 2ª edição. *Instituto Geológico e Mineiro*, Lisboa, 83 pp.
- McCLAY K. R. (1987). *The mapping of geological structures*. The Geological Field Guide Series. John Wiley & Sons, Chicester, New York, 161 pp.
- MENDES J. C. & BETTENCOURT M. L. (1980). Contribuição para o estudo do balanço climatológico de água no solo e classificação climática de Portugal Continental. In: O Clima de Portugal. *Inst. Nac. Meteor. Geofís.*, Lisboa, 24: 1-288.
- NARCISO A. (1947). Clínica hidrológica e organização termal. In: Actas–Alocuções–Comunicações, 1º Congresso Luso-Espanhol de Hidrologia. Ministério da Economia, Lisboa, pp. 353-393.
- PINHEIRO L. M., WILSON R. C. L., PENA dos REIS R., WHITMARSH R. B. & RIBEIRO A. (1996). The western Iberia margin: a geophysical and geological overview. In: WHITMARSH R. B., SAWYER D. S., KLAUS D. S. & MASSON D. G., eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific results*, 149: 1-23.
- RAUV. & ZBYSZEWSKI G. (1949). Estremadura et Ribatejo. In: Livret-guide de l'excursion D. *Union Géographique Internationale, XVI Congrès International de Géographie*, Lisbonne, 146 pp.
- REY J. (1993). Les unités lithostratigraphiques du groupe de Torres Vedras (Estremadura, Portugal). *Comun. Inst. Geol. Min. Portg.*, Lisboa, 79: 75-85.
- RIBEIRO A. (1984). Néotectonique du Portugal. In: Livro de Homenagem a Orlando Ribeiro. *Centro de Estudos Geográficos*, Lisboa, 1: 173-182.
- RIBEIRO A., KULLBERG M. C., KULLBERG J. C., MANUPPELLA G. & PHIPPS S. (1990). A review of Alpine Tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks, *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- RIBEIRO O., LAUTENSACH H. & DAVEAU S. (1987a). *Geografia de Portugal*. Vol. I - A posição geográfica e o território. Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 3-334.
- RIBEIRO O., LAUTENSACH H. & DAVEAU S. (1987b). *Geografia de Portugal*. Vol. II - O ritmo climático e a paisagem. Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 336-623.
- ROMARIZ C. (1960). Estudo geológico e petrográfico da área tífónica de Soure. *Comun. Serv. Geol. Portg.*, Lisboa, 44: 1-219.
- SEIFERT H. (1958). *The Lourinhã structure*. Companhia dos Petróleos de Portugal & Mobil Exploration Portugal Inc., Lisboa, 21 pp., 7 anexos. (Relatório inédito).
- SEIFERT H. (1963). *Sobre a hidrologia e génese das águas do Vimeiro*. GEO-HIDROL Lda, Lisboa, 18 pp., 5 anexos. (Relatório inédito).
- SP – Sondagens Perpétuo (1995). *Relatório Final do Furo: OMNIA-Vimeiro*. Processo nº 46849 do grupo de geohidrologia da D.S.R. Hidráulica do Tejo. 4 pp, 1 anexo. (inédito).
- TARH – Terra, Ambiente & Recursos Hídricos, Lda. (2003). *Estudo hidrogeológico na concessão hidromineral HM-44 Vimeiro e terrenos envolventes (Maceira–Praia do Porto Novo)*. Relatório final para a Empresa das Águas do Vimeiro, Lda. TARH, Lda., Lisboa. 72 pp., 4 anexos. (relatório inédito).
- TD – Teixeira Duarte, Lda. (1974). *Relatório sumário, Empresa das Águas do Vimeiro, Captação TD.1, Água do Vimeiro*. Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda., Lisboa. 3 pp., 3 anexos. (relatório inédito).
- TELLES ANTUNES M., FERREIRA M. P., ROCHAR B., SOARES A. F. & ZBYSZEWSKI G. (1979). Essai de reconstitution paléogéographique par cycles orogéniques: Le cycle Alpin. In: RIBEIRO A. et al., Introduction à la Géologie générale du Portugal. *Serviços Geológicos de Portugal*, Lisboa, pp. 45-89.

- TRINDADE J. M. R. (2001). *Evolução geomorfológica do sector terminal da bacia do Rio Alcabrichel, (A-dos-Cunhados-Praia de Porto Novo)-Lourinhã*. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 117 pp. (tese de mestrado).
- VAIL P. & CRAMEZ C. (1990). Seismic interpretation. Sequence stratigraphy. *Explanatory Notes TOTAL*, C.F.P.'S Technical Educational Programs. Vol. 1.
- WILSON R. C. L. (1989). Field excursion to the Lusitanian Basin, Portugal. *The Open University & Petroleum Exploration Society of Great Britain, PESGB*. 103 pp.
- WILSON R. C. L., HISCOTT R. N., WILLIS M. G. & GRADSTEIN F. M. (1989). The Lusitanian Basin of West-Central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic, and subsidence history. In: TANKARD A. J. & BALKWILL H. R., eds., Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. *AAPG Mem.*, 46: 341-361.
- ZBYSZEWSKI G. & BARRETO de FARIA J. (1971). O sal-gema em Portugal metropolitano suas jazidas, características e aproveitamento. *Estudos, Notas e Trabalhos Serv. Fom. Mineiro*, Porto, 20 (1/2): 5-105.