



**UNIVERSIDADE DE COIMBRA**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**Departamento de Ciências da Terra**

**SISTEMA AQUÍFERO CALDAS DA RAINHA – NAZARÉ:  
HIDRODINÂMICA E MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO  
SETOR CENTRAL (TORNADA)**

**João Paulo Pereira Henriques**

**MESTRADO EM ENGENHARIA GEOLÓGICA E MINAS**

**Orientação científica**

Prof. Doutor José Manuel Martins de Azevedo,  
DCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Nelson Edgar Rodrigues,  
DCT, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra

**Setembro, 2015**

# AGRADECIMENTOS

A presente dissertação é o resultado do apoio e da colaboração de diferentes pessoas e entidades que entrego os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro, um agradecimento especial ao Prof. Doutor José Manuel Martins de Azevedo, pela paciência, pelo apoio, conhecimentos transmitidos e dedicação a este trabalho, assim como ao longo de toda a minha formação académica.

Ao Prof. Doutor Nelson Rodrigues, pelo ajuda e dedicação a este trabalho assim como ao longo do percurso académico.

À Empresa de sondagens que disponibilizou graciosamente os dados que permitiu efetuar esta dissertação, pela experiência, dedicação e informação transmitidas. A esta o meu muito obrigado.

A todos os docentes que permitiram a minha formação académica, pelos conhecimentos transmitidos, paciência e motivação. A todos eles um agradecimento especial.

A minha família, pela paciência, apoio e carinho demonstrado ao longo deste longo caminho.

Aos amigos e colegas de faculdade, pelos bons momentos passados, pela camaradagem e por tudo o que a vida académica deixa saudades.

## Resumo

O presente trabalho pretende contribuir para o conhecimento mais aprofundado do Sistema Aquífero O33 – Caldas da Rainha – Nazaré, nomeadamente para o conhecimento da sua hidrodinâmica interna e da sua morfologia no sector central – Tornada.

O estudo baseou-se fundamentalmente na análise de Relatórios de furos para captação de água realizados no setor em análise e nos domínios envolventes.

A área estudada tem uma área aproximada de 21 km<sup>2</sup> e foram utilizados 23 relatórios de captações.

O domínio do Sistema Aquífero O33 – Caldas da Rainha – Nazaré (Almeida, 2000) selecionado apresenta: (1) uma geologia marcada pela presença de formações sedimentares de origem marinha e continental do Plio-pleistocénico e formações margo calcárias do Jurássico inferior; (2) um enquadramento hidrogeológico caracterizado pela ocorrência de aquíferos livres e semi- -confinados interligados entre si, em que a sua base é a Formação das “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959).

O tratamento dos dados recolhidos na bibliografia (nomeadamente na cartografia geológica da região) e nos relatórios de captações, assim como os elementos de campo foram tratados por diversos programas informáticos (por exemplo, RockWorks e Surfer) o que permitiu expressar os seguintes resultados:

- o aquífero inserido nas formações plio-pleistocénicas encontra-se dividido em dois setores separados pelo afloramento central da Formação “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959);

- a hidrodinâmica intra-aquífera no setor W caracteriza-se por: (1) baixo gradiente hidráulico a E e elevado a W (zona de recarga aquífera); (2) zonas onde a produtividade aquífera é elevada a muito elevada (> 30 m<sup>3</sup>/h);

- a hidrodinâmica intra-aquífera no setor E caracteriza-se por: (1) baixo gradiente hidráulico a W e elevado a N (zona de descarga aquífera); (2) setor menos produtivo da zona em estudo em que raramente se obtêm caudais superiores a 15 m<sup>3</sup>/h;

- a geometria do setor W caracteriza-se: (1) depressão em forma de sinforma segundo a direção W-E; (1) a sua base é composta por contornos muito irregulares, no entanto, observa-se duas depressões mais acentuadas alinhadas NW-SE; (2) o topo apresenta uma forma quase plana; (3) as suas laterais W e E formam declives medianos, enquanto que a N e S seguem os mesmos padrões que a base aquífera;

- a geometria do setor E caracteriza-se: (1) de forma regular em todos os seus quadrantes, não é possível observar grandes variações na sua geometria; (2) No sentido E-W o aquífero forma um sinforma, mas com contornos mais suaves que o setor W;

- a morfologia aquífera é claramente condicionada pelos fatores seguintes: (1) estruturais, pela possível existência de falhas que se encontram cobertas pelo Plio-pleistocénico; (2) (paleo)geomorfológicos e (paleo)deposicionais, em que a espessura do aquífero está interligada com estes dois fatores.

- a espessura do aquífero está diretamente relacionada com a sua produtividade.

**Palavras-chave:** Vale tifónico das Caldas da Rainha, Sistema Aquífero O33 – Caldas da Rainha Nazaré; aquífero plio-pleistocénico; hidrodinâmica intra-aquífera; modelação geométrica.

## ABSTRACT

This work intends to contribute to an improved understanding of the aquifer system “O33 - Caldas da Rainha – Nazaré”, especially in what concerns the internal hydrodynamics and morphology of the central sector - Tornada.

This study was based primarily on the log reports of water wells that have been drilled in the area. The area analyzed covers approximately 21 km<sup>2</sup> and twenty three log reports have been selected.

The domain of the aquifer system “O33 - Caldas da Rainha - selected Nazaré” is characterized by: (1) a geology marked by Plio-Pleistocene marine and continental sedimentary formations and by marl-limestone formations of the lower Jurassic; (2) a hydrogeology characterized by the occurrence of interconnected free and semi-confined aquifers, where the basement is the "Marl and Limestones of Dagorda" Formation.

Processing of data from literature (in particular geological mapping of the region), from water well log reports, and from field observations was accomplished with several software programs (e.g., Surfer and RockWorks). This allowed the preparation of following results:

- The aquifer imbedded in the Plio-Pleistocene formations is split into two sections separated by the central outcrop of the "Marl and Limestones of Dagorda" Formation;

- Intra-aquifer hydrodynamics in the west sector is characterized by: (1) low hydraulic gradient in the east and high in the west (aquifer recharge zone); (2) water-bearing areas with very high productivity (>30 m<sup>3</sup>/h)

- Intra-aquifer hydrodynamics in the east is characterized by: (1) low hydraulic gradient in the west and high gradient in the north (aquifer discharge zone); (2) this sector is the less productive of the studied zone where seldom are obtained flows above 15 m<sup>3</sup> / h.

- The geometry of the west sector is characterized by: (1) a depression with a syncline shape aligned in the direction WE; (1) its basement is highly irregular, however there are two more pronounced depressions aligned NW-SE; (2) it shows a nearly flat top; (3) the W and E sides have softer slopes, while the N and S sides follow the same pattern as the base of the aquifer.

- The sector geometry of the east sector is characterized by: (1) it is regular in all the quadrants, where it is not possible to observe large variations in their geometry; (2) in the EW direction, the aquifer forms a syncline shape but with softer contours than the west sector;

- The aquifer morphology is clearly constrained by the following factors: (1) structural controls, possibly by existing faults that are covered by the Plio-Pleistocene formations; (2) (paleo)geomorphological and (paleo)depositional factors, where the thickness of the aquifer is controlled by both factors.

- The thickness of the aquifer is directly related to its productivity.

**Keywords:** Typhonic valley of “Caldas da Rainha”, Aquifer System “O33 - Caldas da Rainha Nazaré”; Plio-Pleistocene aquifer; intra-aquifer hydrodynamics; Geometric modelling.”

# ÍNDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introdução.....   | 1  |
| 1.1   | Importância da água: Enquadramento Geral e Importância .....  | 1  |
| 1.2   | Recursos Hídricos em Portugal.....  | 5  |
| 1.3   | Objetivos.....  | 7  |
| 1.4   | Metodologias .....  | 7  |
| 2     | Enquadramento Regional .....  | 9  |
| 2.1   | Enquadramento Geográfico e Administrativo .....   | 9  |
| 2.2   | Enquadramento Geológico e Estrutural .....  | 11 |
| 2.3   | Hidrológico: Climatológico e Hidrográfico.....  | 17 |
| 2.3.1 | Climatológico .....   | 17 |
| 2.3.2 | Hidrográfico.....   | 19 |
| 2.4   | Enquadramento Hidrogeológico.....   | 20 |
| 3     | Enquadramento Local.....  | 22 |
| 3.1   | Enquadramentos Topográfico e Hidrográfico .....   | 22 |
| 3.2   | Enquadramento Geológico e Estrutural .....  | 24 |
| 3.3   | Hidrogeológico.....   | 32 |
| 3.4   | Uso e Ocupação do Solo .....  | 34 |
| 4     | Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré: Hidrodinâmica e Modelação Geométrica do Sector Central (Tornada)..... | 37 |
| 4.1   | Dados Base .....  | 37 |
| 4.1.1 | Critérios de seleção dos dados .....  | 37 |
| 4.1.2 | Localização e Características Gerais das Captações.....   | 38 |
| 4.1.3 | Métodos de perfuração utilizados.....   | 45 |
| 4.2   | Tratamento dos dados .....  | 50 |
| 4.3   | Resultados e interpretações.....  | 52 |
| 4.3.1 | Piezometria e cartas de fluxo .....   | 54 |
| 4.3.2 | Modelação da Geometria Aquífera.....  | 55 |
| 5     | Conclusões e Recomendações .....  | 62 |
| 5.1   | Conclusões .....  | 62 |
| 5.2   | Recomendações.....  | 64 |
| 6     | Bibliografia.....   | 66 |
|       | ANEXOS .....  | 68 |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1- Distribuição da água no planeta Terra.....   | 1  |
| Figura 1.2 - Ciclo hidrológico.....  | 3  |
| Figura 1.3 - Tipos de meios aquíferos (Borghetti, B., et al., 2004). ....  | 5  |
| Figura 1.4 - Principais Bacias Hidrográficas de Portugal. ....   | 6  |
| Figura 2.1 - Enquadramento da região em estudo no País.....  | 9  |
| Figura 2.2 - Extrato da folha N.º 326 da Carta Topográfica de Portugal é escala 1:25000....  | 10 |
| Figura 2.3 - Enquadramento administrativo através das CCDR.....  | 11 |
| Figura 2.4 - Unidades Morfe estruturais de Portugal continental. ....  | 13 |
| Figura 2.5 - Folha 26 D da Carta Geológica de Portugal á escala 1:50000 e respetiva legenda.<br>.....  | 16 |
| Figura 2.6 - Temperatura média anual na Região Hidrográfica 4. ....  | 18 |
| Figura 2.7 - Precipitação média anual na Região Hidrográfica 4. ....   | 19 |
| Figura 2.8 - Bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste (adaptado de Plano Gestão Bacia Hidrográfica RH4).....   | 20 |
| Figura 2.9 - Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental.....   | 21 |
| Figura 3.1 - Excerto da Folha N.º 326 da Carta Militar de Portugal.....  | 22 |
| Figura 3.2 - Modelo Digital de Terreno da área em estudo.....  | 23 |
| Figura 3.3 - Enquadramento geológico da área estudada em excerto da folha 26D da Carta Geológica de Portugal.....                                      | 25 |
| Figura 3.4 - Afloramento e pormenor do Plio-pleistocénico. ....  | 29 |
| Figura 3.5 - Pormenor da Formação Margas e Calcários de Dagorda (Membro carbonatado).<br>.....   | 30 |
| Figura 3.6 - Perfil interpretativo mostrando a posição dos Vales Tifónicos das Caldas da Rainha e Fonte da Bica (Rio Maior) (Soares, et al, 2000)..... | 31 |
| Figura 3.7 - Sector em estudo do Aquífero O33 - Caldas da Rainha - Nazaré.....   | 32 |
| Figura 3.8 - Localização das captações selecionadas na área em estudo e área envolvente.<br>.....  | 33 |
| Figura 3.9 - Aspeto geral da zona em estudo evidenciando o uso e ocupação do solo. ....  | 35 |
| Figura 3.10 - Evolução do uso dos solos entre A -2004 e B - 2013 (imagem <i>Google Earth</i> ®).<br>.....  | 36 |
| Figura 4.1 - Localização dos furos selecionados para o presente estudo em fragmento da Carta Militar de Portugal, Folha 326. ....                      | 39 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.2 – Enquadramento geológico dos furos selecionados para o presente estudo sobre documento adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50000 – Folha 26D (Zbyszewski, 1959).....   | 39 |
| Figura 4.3 – A - Furo F16 e sua envolvente (1) Manilha e tampa de proteção; B – Pormenor do Furo F16 (2) – Isolamento superficial; (3) Tubo PVC; (4) – Tampa de proteção.....  | 41 |
| Figura 4.4 - Log geológico e estrutural simplificado do furo F16.....  | 42 |
| Figura 4.5 – A - Furo F19 e a sua envolvente; B – Pormenor do Furo F19 (1) – Tubo de PVC; (2) – Tampa de proteção; (3) – isolamento superficial (camuflado pela areia); (4) – Conduta de elevação da electrobomba submersível..... | 43 |
| Figura 4.6 - Log geológico e estrutural simplificado do furo F19.....  | 44 |
| Figura 4.7 – Fotografia aérea da execução do furo F20; (1) Tanques de decantação de areias, (2) máquina de perfuração, (3) veículo de apoio, (4) bomba de lamas, (5) compressor para limpeza e desenvolvimento da captação. ....   | 46 |
| Figura 4.8 - Esquema interpretativo de: A - método rotação á circulação direta; B – método rotação á circulação inversa.....   | 47 |
| Figura 4.9- Exemplo de uma perfuração a rotação por circulação direta. ....  | 47 |
| Figura 4.10 - Máquinas de perfuração utilizadas na abertura dos furos na zona em estudo.   | 47 |
| Figura 4.11 – A – Tricone de dentes de aço; B – Tricone de dentes de tungsténio; C – Trialeta com estabilizador. ....  | 48 |
| Figura 4.12 – A – Varas de perfuração; B – Bomba de lamas de pistons; C – Bomba de lamas centrífuga. ....  | 48 |
| Figura 4.13 – A – Misturador de Bentonite; B – Hidrociclone; C – Bentonite. ....   | 48 |
| Figura 4.14 – A – Martelo fundo furo e bit de perfuração; B – Compressor alta pressão. ....  | 49 |
| Figura 4.15 – A – Tubo PVC para entubamento do furo e centralizador; B – Seixo calibrado 3/5mm para maciço filtrante. ....   | 49 |
| Figura 4.16 - Limpeza e desenvolvimento da captação (Captação em Benavente – Santarém). ....   | 50 |
| Figura 4.17 - Pormenor da litologia constituinte do Plio-pleistocénico. ....   | 51 |
| Figura 4.18 - Localização do sector W e do setor E no domínio em estudo.....   | 52 |
| Figura 4.19 - Mapa piezométrico e de fluxo para o setor E da zona em estudo.....   | 54 |
| Figura 4.20 - Mapa piezométrico e de fluxo para o setor W da zona em estudo.....   | 55 |
| Figura 4.21 - Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação <i>krigagem</i> , interpretados. ....   | 56 |
| Figura 4.22 - Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação “inverso do quadrado da distância” interpretados. ....  | 57 |
| Figura 4.23 - Localização dos cortes interpretativos da geometria do aquífero em estudo (A-A’; B-B’ e C-C’). ....  | 59 |
| Figura 4.24 - Cortes interpretativos da geometria inferida para o aquífero em estudo.....  | 60 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 3.1 - Nível hidrométrico instantâneo na estação de Tornada no período de 01-01-2007 a 21-12-2007..... | 24 |
| Gráfico 4.1 – Representação da espessura do Plio-pleistocénico e da produtividade aquífera.<br>.....          | 53 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1.1 - Distribuição volumétrica da água no planeta Terra. .... | 2  |
| Tabela 2.1 - Temperatura do ar média mensal. ....                    | 17 |
| Tabela 2.2 - Precipitação mensal na barragem de Óbidos. ....         | 18 |
| Tabela 3.1 - Dados parciais das captações selecionadas. ....         | 34 |

# 1 Introdução

## 1.1 Importância da água: Enquadramento Geral e Importância

A água é essencial à vida, pelo menos às formas de vida terrestres. Ela existe no nosso planeta em vários estados: no estado sólido sob a forma de gelo; no estado líquido em rios, lagos, oceanos, massas de água subterrânea e por último no estado de vapor na atmosfera e nos solos.

Cerca de 3/4 do nosso planeta está coberto por água apresentando um volume total aproximado de  $1380 \times 10^{15} \text{ m}^3$  (Marques, 2012). 97% da água existente encontra-se nos oceanos, os restantes 3 % é água doce, estes por sua vez estão distribuídos por icebergs e glaciares (77%) água subterrânea (22%) e água superficial (1%) no entanto, podemos distribuir ainda mais especificamente a água superficial em 3 categorias, rios (<0,4%), atmosfera e solo (39%) e por último os lagos (61%) (fig. 1.1).

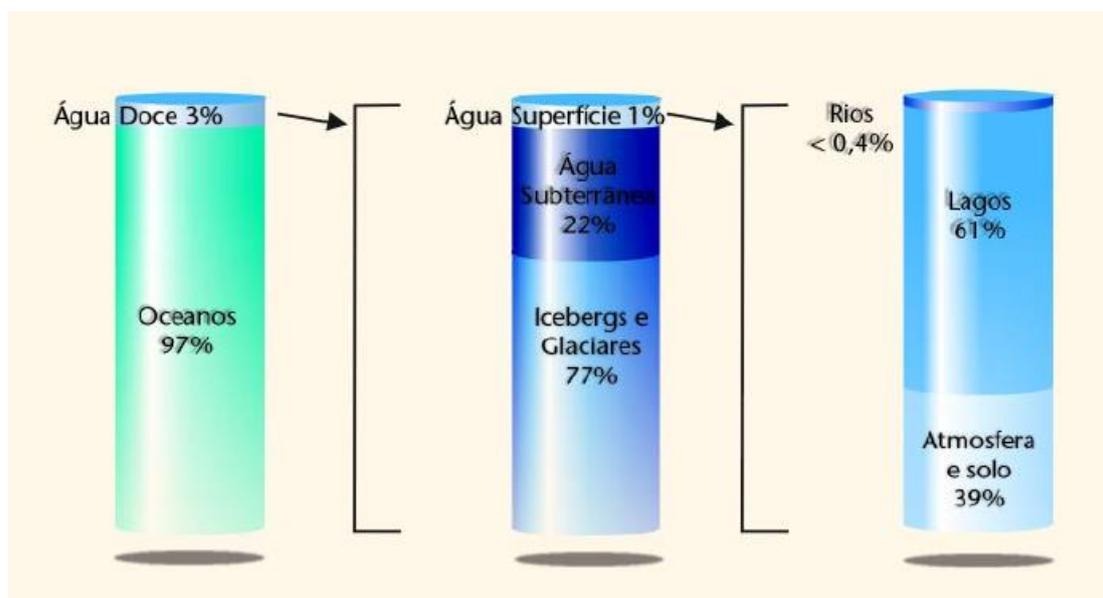


Figura 1.1- Distribuição da água no planeta Terra.

(Midões, C., 2001)

Mas nem toda a água existente no nosso planeta está disponível para consumo, excluimos os 97% da água dos oceanos que por ser salgada não é utilizada para consumo (admitindo que não se utiliza o processo de dessalinização da água), dos restantes 3% excluimos a água existente em icebergs e glaciares por se encontrar no estado sólido, por

último excluímos a água existente na atmosfera e solo por esta se encontrar sob o estado gasoso (atmosfera) e a designada água capilar (solos) a que apenas as plantas têm acesso, resumindo, apenas temos acesso direto à água potável no total de 24,2 milhões de km<sup>3</sup> isto é 1,7 % de toda a água existente no nosso planeta, em que 24 milhões de km<sup>3</sup> encontram-se nas águas subterrâneas e apenas 0,2 milhões de km<sup>3</sup> se encontram em lagos e rios (tabela 1.1).

Visto que 99% da água que se encontra disponível para consumo no planeta Terra é água subterrânea e sendo um recurso que se esgota, torna-se extremamente importante preservá-lo e ao mesmo tempo perceber como funciona este meio subterrâneo, para prevenir possíveis fontes de contaminação e/ou esgotamento deste recurso.

Tabela 1.1 - Distribuição volumétrica da água no planeta Terra.  
(Midões, C., 2001)

| Reservatórios                | Volume aproximado de água em Km <sup>3</sup> | Porcentagem da água total |
|------------------------------|--|---------------------------|
| OCEANOS                      | 1340 000 000                                 | 96.4                      |
| GLACIARES                    | 24 000 000                                   | 1.72                      |
| ÁGUA SUBTERRÂNEA (AQUÍFEROS) | 24 000 000                                   | 1.72                      |
| HUMIDADE DO SOLO             | 16 500                                       | 0.001                     |
| LAGOS E PÂNTANOS             | 176 400                                      | 0.013                     |
| RIOS                         | 2 120  | 0.00015                   |
| ATMOSFERA                    | 13 000                                       | 0.001                     |
| ÁGUA BIOLÓGICA               | 1 120  | 0.0001                    |
| <b>Volume de água total</b>  | <b>1 390 000 000</b>                         | <b>100%</b>               |

As nações unidas (ONU) fazem regularmente relatórios com o objetivo de projetar o futuro da humanidade. Num dos seus últimos relatórios, esta organização prevê para o ano de 2050 que quase metade da população mundial não terá acesso à quantidade individual mínima deste precioso líquido, isto deve-se à aglomeração da população, assim como o aumento da discrepância dos países mais desenvolvidos para os menos desenvolvidos, ou seja, os mais ricos e desenvolvidos, cada vez crescem mais (provocando um efeito de emigração para esses países) e os países mais pobres e menos desenvolvidos cada vez se tornem mais pobres (provocando um efeito de pobreza e ao mesmo tempo desrespeito pelas leis ambientais, aumentando assim a poluição dos recursos hídricos existentes, diminuindo a quantidade de água potável disponível).

Para se perceber como a água se distribui no planeta, foi necessário estudar a origem da mesma em cada estado, foi aí que surgiu o ciclo da água (fig. 1.2).



Figura 1.2 - Ciclo hidrológico.

(adaptado de: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html> - consultado no dia 1-09-2015)

Este ciclo inclui todas as transformações por que a água passa, e que, como foi enunciado por António Lavoisier “*Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma*”, funciona em cadeia; contudo, é usual considerar o seu início na **precipitação atmosférica**. Este segmento meteorológico consiste na “descida” da água da atmosfera para a superfície terrestre, esta pode ocorrer em diversos estados, no estado gasoso sob a forma de nevoeiro, no estado líquido sob a forma de chuva e no estado sólido sob a forma de neve e granizo; quando a água chega ao solo depende da zona onde cai, esta poderá ter destinos diferentes, se cair numa zona fria, ela ficará retida nessa zona sob a forma de **glaciar ou iceberg**, a precipitação que chega ao solo (fora das zonas frias), poderá sofrer dois caminhos distintos, a maior parte da água escoar pela superfície (**escoamento superficial**) dirigindo-se a lagos e rios, que por sua vez estes últimos transportam a água até aos oceanos, a restante água infiltra-se (**infiltração**) no solo, parte desta água fica retida no solo na zona não saturada que vai ser absorvida pelas plantas, a outra parte sofre **infiltração profunda** e é armazenada nas rochas criando aquíferos, que por sua vez pelo processo de **escoamento subterrâneo** a água dos aquíferos poderá escoar para dois locais, para a superfície alimentando fontes naturais e rios, ou irá escoar no oceano. Apesar de os glaciares e icebergs serem massas de gelo, estes ao longo do ano sofrem degelo e gelo, quando ocorre o degelo dos glaciares a água neles contida passa do estado sólido ao estado líquido e por escoamento superficial irá alimentar rios e lagos que por sua vez alimentam os oceanos, mas estes rios e lagos além de alimentarem os oceanos podem pelo processo de infiltração recarregar aquíferos. A água que

é absorvida pelos seres vivos não fica para sempre armazenada na sua estrutura, esta é libertada pelos poros sob a forma de suor (**transpiração**) que com a ação da temperatura faz com que a água evapore, mas a **evaporação** não ocorre apenas com a transpiração dos seres vivos, ocorre também com a água superficial que se encontra nos lagos, rios, oceanos, etc. A **evapotranspiração** (junção da evaporação com a transpiração) é o processo que transforma a água no estado líquido ao estado gasoso que vai transferir a água da superfície terrestre novamente para a atmosfera, ficando armazenada nas nuvens e no ar, começando novamente o mesmo ciclo.

Os estudos geológicos, regionais ou locais, são fundamentais para a avaliação e gestão dos georrecurso (onde se incluem as massas de água subterrâneas), do ordenamento do território, de apoio à construção civil, etc.

No campo da Geologia a área que estuda os recursos hídricos subterrâneos designa-se por Hidrogeologia. Esta estuda os reservatórios geológicos de água – aquíferos, assim como, a hidrodinâmica e a hidroquímica das massas de água subterrâneas.

Este trabalho desenvolve-se no domínio da Hidrogeologia e, conseqüentemente incide sobre o estudo de massas de **água subterrânea** que se armazena em **aquíferos** (“formação ou corpo geológico que contem água e a pode ceder em quantidades economicamente aproveitáveis”, (Almeida, 2000).

Na natureza ocorrem diversos tipos de aquíferos: tipo poroso (quando a água circula em poros); tipo fraturado (quando a água circula pelas fraturas dos maciços) e tipo cársico (quando a água circula nas cavidades originadas pela dissolução das rochas solúveis, como carbonatos e sal-gema) (fig. 1.3).

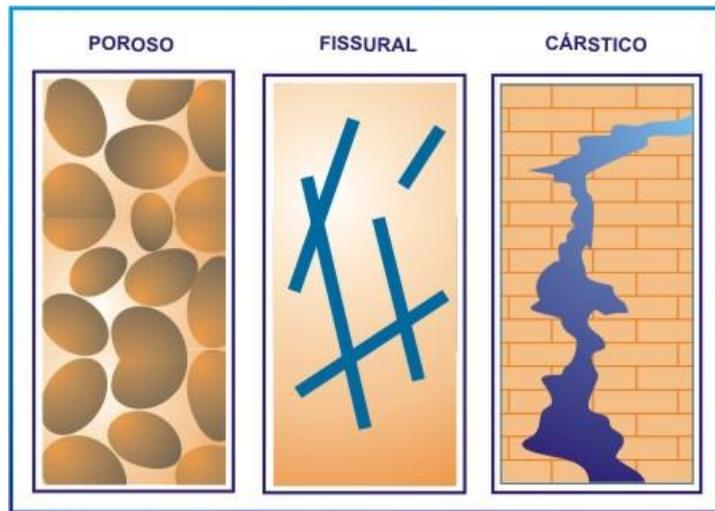


Figura 1.3 - Tipos de meios aquíferos (Borghetti, B., et al., 2004).

## 1.2 Recursos Hídricos em Portugal

Portugal é um país com boas disponibilidades hídricas. Possui 19 bacias hidrográficas principais (fig. 1.4), em que a bacia do rio Tejo é a maior do país. No que toca à água subterrânea, o nosso país tem cerca de 50 sistemas aquíferos individualizados (Almeida, 2000). Este número irá aumentar com o avanço do conhecimento científico. As fontes de água para o consumo interno do país dividem-se entre as massas de águas subterrâneas principalmente através de furos, poços nascentes e minas, e massas de água superficial (rios, lagos e albufeiras).

A agricultura, como já era de prever consome cerca de 48% da água captada em Portugal (Midões, 2001). Isto ocorre porque é um sector que se encontra em grande crescimento e porque para a prática desta atividade são necessárias grandes quantidades de água nos meses mais solarengos e quentes, sobretudo em certas regiões em que as culturas têm de ser regadas duas e três vezes por dia. Com 37% da água consumida em Portugal (Midões, 2001), a indústria, assume o segundo lugar. A água utilizada neste sector pode ter diversas finalidades desde a área alimentar, química, energia, etc. No último lugar e com apenas 15% da água consumida em Portugal (Midões, 2001), está o consumo para uso doméstico. Apesar de no nosso país existirem cerca de 10,7 milhões de habitantes, a água por eles consumida em casa (incluindo banhos, alimentação, lavagens, etc) é menor que a água consumida em cada atividade acima descrita.

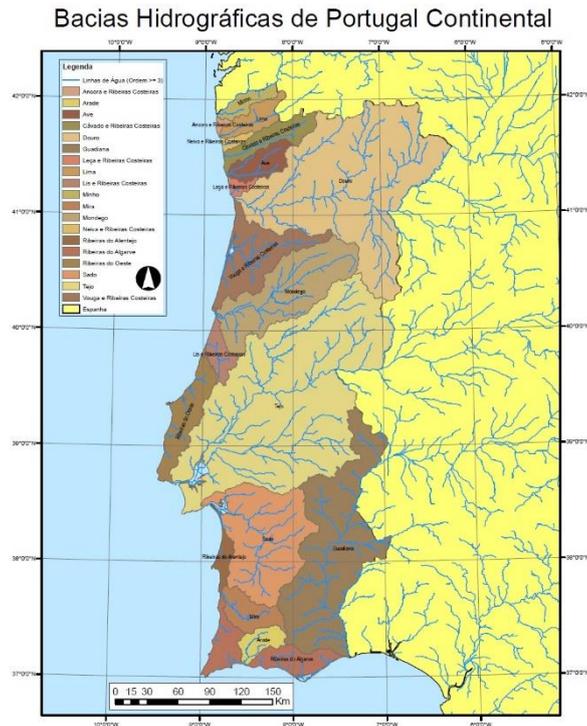


Figura 1.4 - Principais Bacias Hidrográficas de Portugal.

(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 03-09-2015)

No que toca á qualidade das águas subterrâneas e superficiais o aumento da indústria e da agricultura, bom para a economia do país, tem promovido a degradação das massas de águas naturais e poderá conduzir à falta de água potável. Existe uma conjugação de fatores que ainda hoje ocorrem e que devem de ser corrigidos o mais depressa possível, nomeadamente a contaminação de origem agrícola por lixiviação dos solos, contaminação provocada pela indústria através da descarga de efluentes não controlados, a construção deficiente de captações de água subterrânea que permitem a intercomunicação de aquíferos menos profundos com aquíferos mais profundos (podendo provocar a contaminação de ambos), a salinização dos aquíferos quer por avanço da cunha salina, como acontece no Sistema aquífero “Cretácico de Aveiro”, quer por má construção de furos quer pelo abandono de furos sem qualquer tipo de impermeabilização dos diferentes aquíferos (como por exemplo quando o aquífero salino é confinado a sua pressão é elevada, fazendo com que o seu nível potenciométrico seja mais elevado que o nível de base do aquífero potável, contaminando assim o aquífero superior). Pode-se ainda constatar que em certas zonas cársticas existem uma elevada quantidade de indústria agropecuária em que as lagoas de deposição dos dejetos oriundos dos animais não estão devidamente impermeabilizadas provocando uma alimentação direta do aquífero local. Estes e muitos outros processos de contaminação se

não forem corrigidos rapidamente Portugal irá apresentar graves problemas no abastecimento de água potável através dos aquíferos.

### 1.3 Objetivos

O presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de obter o grau de Mestre na área da Engenharia Geológica e de Minas.

Como objetivos principais definiram-se: (1) o estudo da hidrodinâmica subterrânea e (2) a modelação geométrica de um setor com cerca de 21 km<sup>2</sup> do Sistema Aquífero O33 – Caldas da Rainha – Nazaré. Neste setor o sistema aquífero engloba as formações detríticas do Plio-plistocénico “Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas” (Zbyszewski, 1959); este aquífero é limitado inferiormente pela Formação “Margas de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) do Hetangiano.

Como objetivos secundários indicam-se:

- a definição dos enquadramentos regionais e locais nos domínios geográfico, climatológico, geológico, hidrogeológico e de uso e tipo de solos.
- a compilação e tratamento de elementos de natureza hidrogeológica contidos em relatórios de captações – furos – efetuados na região.

### 1.4 Metodologias

As metodologias utilizadas para elaboração deste projeto foram diversas, e incluíram:

- Consulta e recolha bibliográficas;
- Reconhecimento de campo;
- Atividades de gabinete.

Relativamente aos elementos bibliográficos consultados, destacam-se os seguintes:

- Cartas topográficas através da Carta Militar de Portugal 1:25.000, Folha N.º 326 (Instituto Geográfico do Exército, 1970) e geológicas pela Carta Geológica de Portugal 1:50.000 Folha 26D (Zbyszewski, 1959) e respetivas Notícias Explicativas.
- Sistemas Aquíferos de Portugal (2000)

- Relatórios de captações implantadas na região (não-publicados e gentilmente cedidos por empresas que operam localmente).

Relativamente às atividades de gabinete, destaca-se a utilização dos seguintes programas informáticos:

- ArcMap 10.2 ® da ESRI® para criar o Modelo Digital de Terreno (MDT) na zona em estudo;

- RockWorks® 16 para modelar a geometria 3D do aquífero, criação do contacto entre a formação aquífera e a Formação “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, G., 1959)

- Surfer® 11 da Golden Software, para criar os mapas piezométricos e sentido de fluxo.

## 2 Enquadramento Regional

Neste capítulo iremos abordar o enquadramento regional da área em estudo nas várias vertentes: (1) geográfico e administrativo, (2) geológico e estrutural, (3) climatológico e hidrológico e (4) hidrogeológico, para ajudar na elaboração do enquadramento local, assim como algumas condicionantes que poderão afetar a elaboração deste estudo.

### 2.1 Enquadramento Geográfico e Administrativo

Á área em estudo encontra-se na região centro/Estremadura de Portugal continental (fig. 2.1), sub-região Oeste mais concretamente no concelho de Caldas da Rainha, distrito de Leiria. É um concelho com uma área de 255,87 km<sup>2</sup> com uma população de 51.645 habitantes, segundo os censos de 2011; A Norte e Nordeste é limitado pelo concelho de Alcobaça, a Este pelo concelho de Rio Maior, a sul por Cadaval, Bombarral e Óbidos e a Oeste pelo Oceano Atlântico.

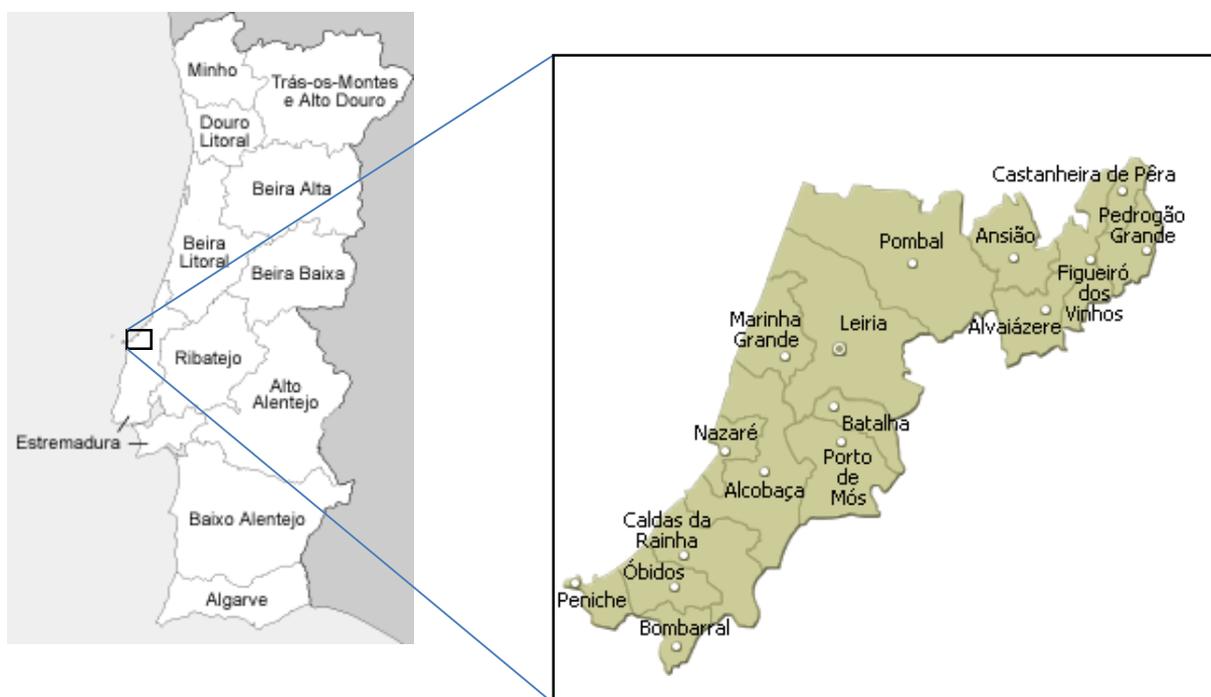
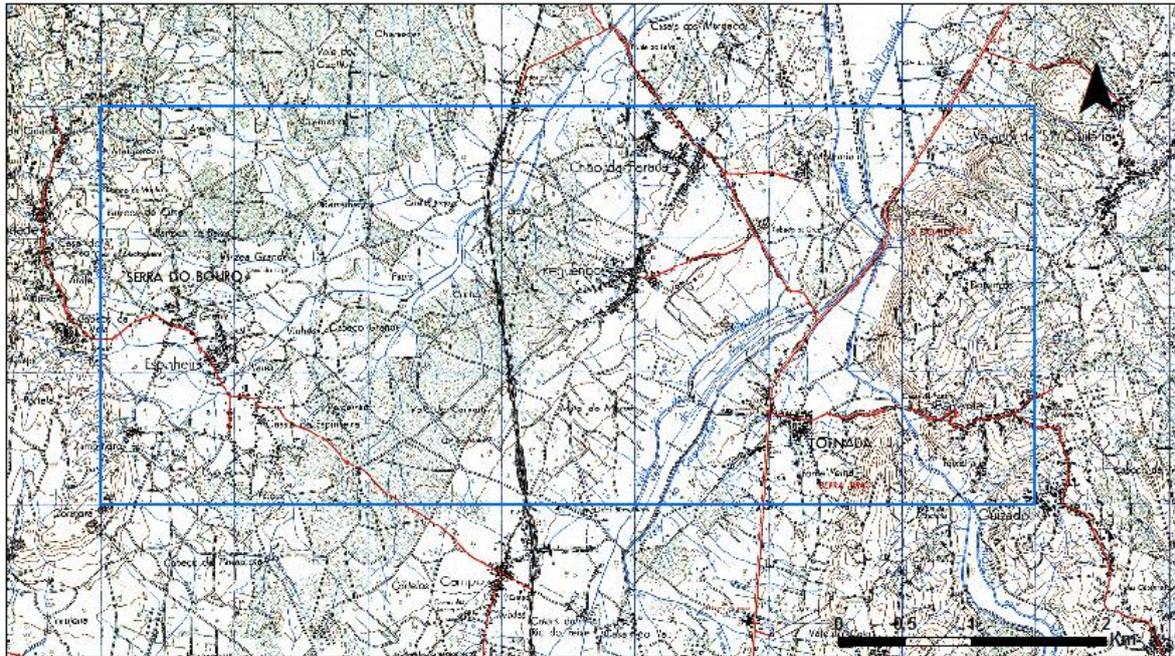


Figura 2.1 - Enquadramento da região em estudo no País.

(Adaptado de: <http://pt.wikimedia.org> e <http://www.irmaos.net/recursos/leiria.html>, consultados no dia 02/09/2015)

O concelho em questão é conhecido a nível nacional por vários motivos dos quais a “Cavacas das Caldas” doce regional típico, pela loiça “Bordalo Pinheiro”, e por ser uma das regiões de produção de fruta com elevado renome internacional, pera rocha e a maçã de Alcobaça. Do ponto de vista da cartografia base á escala 1:25000 de Portugal continental elaborada pelo Instituto Geográfico do Exército, esta região encontra-se na zona Nordeste da folha N.º 326 da referida carta (fig. 2.2).



**Legenda**

— Area de estudo

Figura 2.2 - Extrato da folha N.º 326 da Carta Topográfica de Portugal é escala 1:25000.

(Aptado de: IGEOE, 1970)

Relativamente ao Ordenamento do Território, a tutela para esta temática, é da responsabilidade das Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR), cada comissão está responsável por toda a vertente do Ordenamento do Território, inclusive o licenciamento das captações de água (até ao ano de 2011). O nosso país está dividido em 5 CCDR: Norte (com sede na cidade do Porto), Centro (com sede na cidade de Coimbra), Lisboa e Vale do Tejo (com sede na cidade de Lisboa), Alentejo (com sede na cidade de Évora) e por último a do Algarve (com sede na cidade de Faro). A região estudada é tutelada pela CCDR Lisboa e Vale do Tejo no entanto esta está dividida em 5 sub-regiões; Oeste, Médio Tejo, Lezíria do Tejo, Grande Lisboa e Península de Setúbal. A sub-região que tutela a área em estudo é a Oeste e que gere o total de 11 concelhos de Alcobaça, Nazaré, Óbidos, Caldas da Rainha, Bombarral, Peniche, Lourinhã, Cadaval, Alenquer, Torres Vedras e Arruda dos Vinhos.

Com a integração na União Europeia em 1989, Portugal a partir desse momento foi obrigado a seguir uma série de leis impostas pelo parlamento dessa União, uma dessas obrigações foi a criação das NUTS (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos), estas têm 4 níveis, NUTS I, NUTS II, NUTS III e NUTS IV; cada nível corresponde a uma subdivisão, em que a de 1º nível corresponde ao próprio país, a de 2º nível, corresponde à mesma região administrativa das CCDR; o 3º nível corresponde a cada subdivisão das CCDR, e por último o 4º nível corresponde a cada concelho. Analisando estas divisões da NUTS, a região em estudo encontra-se enquadrada (fig. 2.3) na NUTS I – Portugal, NUTS II – Lisboa e Vale do Tejo, NUTS III – Oeste, NUTS IV – Caldas da Rainha

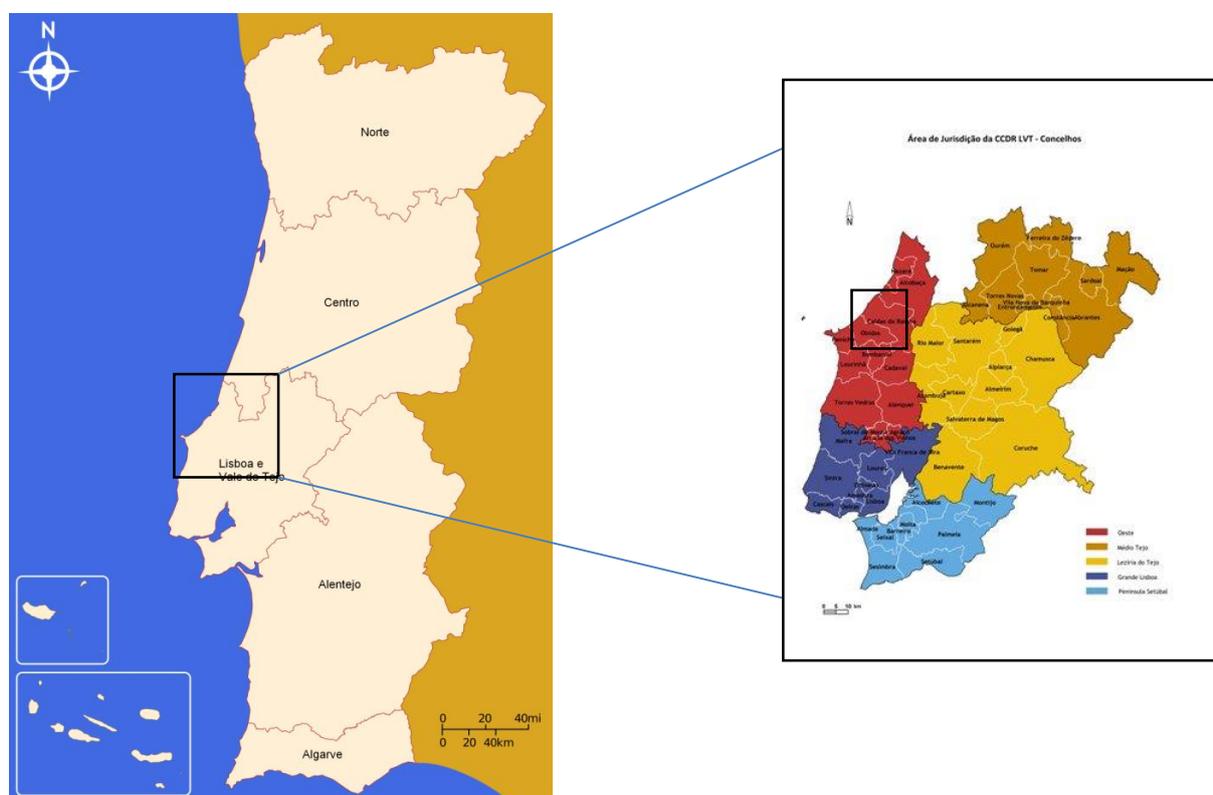


Figura 2.3 - Enquadramento administrativo através das CCDR.

(adaptado de: P.R.O.T.O.V.T. – consultado em [www.ccdr-lvt.pt](http://www.ccdr-lvt.pt) no dia 12-07-2015)

## 2.2 Enquadramento Geológico e Estrutural

Portugal, é um país que geograficamente é considerado de pequenas dimensões, mas geologicamente é um país constituído por muitas rochas de todos os tipos, sedimentares, ígneas e metamórficas, desde a simples areia, até à mais complexa rocha metamórfica de

muito alto grau de metamorfismo, onde se encontram estruturas ígneas e metamórficas na mesma rocha.

Portugal, está dividido em 6 unidades morfoestruturais (fig. 2.4) em que cada uma delas representa diversos estágios da formação do nosso país, conforme a Figura 2.4 ilustra podemos observar 2 zonas a norte designadas de “Maciço de Morais e Bragança” que estão representadas a castanho. Estas zonas são as que contêm as rochas mais antigas do país e são constituídas por rochas metamórficas de alto grau de metamorfismo algumas até, com origem no manto terrestre. Caminhando para sul, encontramos a zona Centro – Ibérica (representada a castanho claro) que é constituída por rochas metasedimentares do início do Paleozóico. Continuando o nosso caminho para Sul encontramos uma região colorida de um verde azulado, corresponde à zona de Ossa Morena, com idades intermédias entre os maciços a Norte e a Zona Centro Ibérica é constituída por rochas metamórficas de alto grau de metamorfismo. Segue-se uma zona colorida de cinzento designada Zona Sul Portuguesa, esta zona é caracterizada por conter a “famosa” Faixa Piritosa Ibérica o ex-líbris da indústria mineira em Portugal, e é constituída por rochas metamórficas de baixo grau de metamorfismo e por depósitos minerais de origem vulcano-sedimentar. Estas 4 zonas representam a região do país com idades inferior ao Mesozóico e podem ser designadas como “Maciço Antigo”. Encontra-se uma pequena região a verde-escuro, designada de “Orla Mezo-cenozóica Meridional”, esta zona é constituída por rochas sedimentares detríticas e carbonatas e representa a parte emersa da bacia do Algarve. Por último, encontra-se uma região que cobre quase todo o litoral oeste do país, esta zona é designada de “Orla Mezo-cenozóica Ocidental” (ou Orla Ocidental), é nesta zona que se encontra a região a que corresponde a área em estudo. A Orla Ocidental contém quatro subdivisões principais; duas de origem ígnea: (1) o complexo vulcânico de Lisboa, (2) o Maciço plutónico de Sintra; e duas de origem sedimentar: (1) a Bacia Terciária do Tejo e Sado que coincide na sua maior parte com a bacia hidrográfica do rio Tejo e Sado e (2) a restante região da orla composta pelas rochas sedimentares da parte emersa da Bacia Lusitânica.

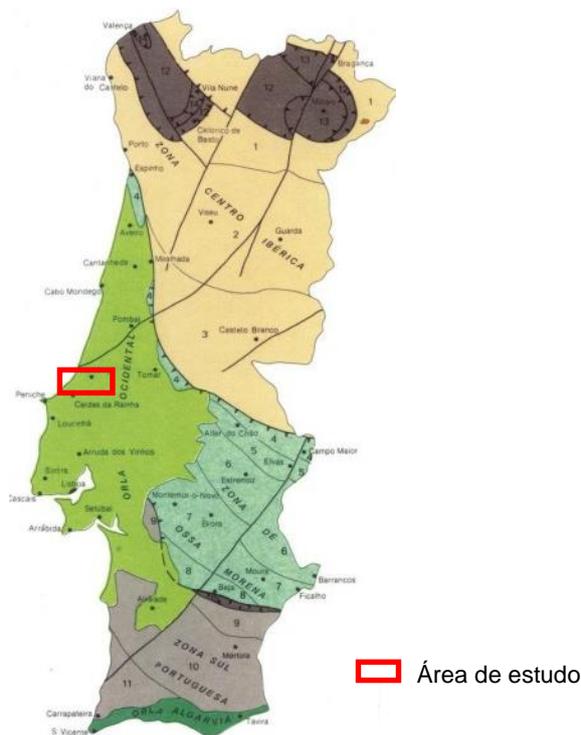


Figura 2.4 - Unidades Morfe estruturais de Portugal continental.

(Adaptado de: Instituto Português de Geologia e Minas, 1992)

A região em estudo neste trabalho localiza-se na unidade morfoestrutural “Orla Mesocenozóica Ocidental” na zona centro oeste desta mesma unidade, onde se observam pela cartografia geológica existente várias estruturas tectónicas interligadas entre si, como por exemplo diapirismo com sinclinais e anticlinais associados. Na geologia regional, a formação mais antiga que aflora e que se encontra cartografada, é a formação “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) datada do final do período Triásico, início do período Jurássico (dependendo do autor), mas segundo G., Zbyszewski (1959) esta formação é de idade Hetagiana, segundo o mesmo autor, ela é constituída na sua base por rochas margosas essencialmente de cor vermelha com a ocorrência de minerais evaporíticos tais como, gesso, anidrite, halite... e no seu topo por rochas calcárias; o paleoambiente existente era do tipo tropical, e deposição era em ambientes de transição continental/marinho, com invasões sucessivas do mar sendo que, entre cada invasão marinha ocorria a evaporação da água e sedimentação dos seus constituintes, até que, já no topo desta formação, temos um ambiente marinho de muito baixa profundidade. Na área envolvente da região em estudo o restante do Jurássico inferior e a base do Jurássico médio, encontra-se em profundidade, não aflorando á superfície, o local mais próximo onde podemos observar rochas desta idade é na zona de São Pedro de Moel, em afloramentos junto á linha de costa. O restante Jurássico médio mais concretamente os andares Bajociano, Bathoniano e Calloviano, têm o seu principal afloramento na região na Serra dos Candeeiros sendo atribuído por G., Zbyszewski o nome

de “Formação de Candeeiros” existindo um outro afloramento de menor dimensão junto a localidade de Serra do Bouro, onde existe uma exploração de rocha calcária para agregados. Esta formação é formada por calcário marinhos apresentando paleoambientes marinhos profundos e marinhos pouco profundos (praticamente superficiais) onde existem icnofósseis de dinossáurios terrestres. O Jurássico superior assenta em discordância angular com o Jurássico médio (embora esta descontinuidade não seja muito evidente na cartografia da região); esta discordância está associada com a formação do anticlinal que forma a Serra de Montejunto, pois em sondagens efetuadas a Oeste da mesma, observa-se um aumento da espessura do Jurássico superior à medida que caminhamos para Oeste, onde na sondagem Ramalhal 1<sup>1</sup> encontramos cerca de 3500 metros de formações deste período, enquanto que em sondagens mais próximas desta serra, a espessura é muito menor, esta informação indica-nos que durante a Jurássico superior ocorreu uma nova fase de rifting nesta bacia. Na cartografia da região o Jurássico superior está presente nos períodos Oxfordiano e Kimmeridgiano. No Oxfordiano estão presentes a formação de Cabaços e a Formação de Montejunto sendo que, a única formação que aflora e se encontra cartografada, é a Formação de Montejunto constituída litologicamente por calcários de cor azulada, a Formação de Cabaços encontra-se em profundidade na região no designado “sinclinal de A-do-Francos” (Zbyszewski, 1959) entre a Formação de Montejunto (no topo) e a Formação de Candeeiros (na base). O Kimmeridgiano está representado por duas formações continentais que fazem a transição de ambientes marinhos para ambientes continentais, na base do Kimmeridgiano está representado pela Formação de Alcobaça (Zbyszewski, 1959) que representa o ambiente de transição marinho para continental onde ocorre a presença de margas intercaladas com argilas e arenitos. Na parte superior do Kimmeridgiano ocorre a Formação dos Grés superiores com restos vegetais e de dinossáurios (Zbyszewski, 1959) que mais tarde se passou a designar “Formação de Bombarral” (Manuppella, 1996) formada litologicamente por arenitos mais ou menos argilosas de cor vermelha, azul, amarela, etc. mas a cor dominante é vermelha. Existe uma lacuna estratigráfica nesta região entre o Kimmeridgiano (Jurássico superior) e o Aptiano (Cretácico inferior médio) onde falta um pacote de sedimentos com um total próximo dos 27 M.a.. O Cretácico assenta em discordância angular com o Jurássico e a única formação cartografada na carta geológica da região (26D) é o “Complexo gresosos de Olhos Amarelos, Pousio da Galiota e Gancaria” (Zbyszewski, 1959) em que a sua atitude é aproximadamente horizontal, apresentando localmente pequenas variações da sua atitude

---

<sup>1</sup> Sondagem efetuada junto da localidade Ramalhal no concelho de Torres Vedras, para pesquisa de hidrocarbonetos. A informação referente a esta sondagem e a evolução do Jurássico superior nesta região, foi adquirida aquando uma saída de campo da disciplina de Estratigrafia no dia 18-05-2012 á Serra de Montejunto.

estratigráfica (direção e pendor). Esta Formação é constituída por arenitos caulíniferos apresentando camadas conglomeráticas com seixos que podem atingir dimensões na ordem dos decímetros, evidenciando regimes de deposição torrencial característico de ambientes de talude marítimo. Analisando estes dados e sabendo que, a formação do vale alinhado segundo NE-SW de Pó – Óbidos – Caldas da Rainha – São Martinho do Porto – Nazaré e, sabendo pela análise da atitude das formações que constituem a bordadura do mesmo, podemos afirmar que: (1) a estrutura tectónica que originou é um anticlinal é de origem diapírica, (2) teve o seu início na passagem do Jurássico médio para o Jurássico superior, no entanto, o seu maior desenvolvimento deu-se entre o Kimmeridgiano e o Aptiano, pois a ausência de sedimentação neste período e o baixo pendor da formação cretácica assim o evidencia. Subindo estratigraficamente, ocorre uma outra lacuna estratigráfica, mas de maiores dimensões com um intervalo de 95 M.a., entre o Cenomaniano e o Pliocénico/Pleistocénico. Durante este período de ausência de sedimentação, ocorreu uma série de fenómenos, desde a erosão de toda a elevação criada pelo diapirismo que a originou, formando o vale tifónico, e colocou em afloramento a formação hetangiana, depois, as variações do nível médio da água do mar, que chegou a atingir cotas de 150 metros abaixo do nível atual, esta baixa provocou uma erosão da formação Hetangiana escavando vales com mais de 100 m de profundidade. Durante o Pliocénico o mar voltou a subir de cota e inundando todo o vale e parte do sinclinal de A-dos-Francos. Esta subida originou que sedimentasse uma nova formação na região designada de “Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas” (Zbyszewski, 1959), esta formação é constituída por argilas amarelas na sua base, seguida de areias de granulometria variável com a mesma coloração, seguindo uma espessura muito variável de areia essencialmente de grão médio a fino esbranquiçada com intercalações de materiais carboníferos. Aquando do deslocamento do nível do mar para os níveis atuais e o desenvolvimento das linhas de água, foram formados terraços fluviais, e aluviões na área de influência das linhas de água, já junto a linha costeira foram depositadas areias de praia.

Na região afloram algumas rochas intrusivas de idade Cretácica (provavelmente da mesma idade do maciço de Sintra - 75 M.a.) essencialmente no vale tifónico, isto deve-se a intrusões de magma dolerítico que se alojaram muito próximo da superfície e que com a erosão ficaram expostos, originando pequenas elevações neste vale, sendo a mais conhecida designada de Monte de São Brás, junto á localidade de Valado dos Frades. Também ocorre junto á povoação de Gaeiras um grande filão dolerítico com direção Este – Oeste associado provavelmente a uma falha secundária da falha principal que percorre toda a bordadura E do vale Tifónico.

Do ponto de vista tectónico temos presentes 3 grandes acidentes bem evidenciados na cartografia da região (fig. 2.5), de Este para Oeste encontra-mos a Serra dos Candeeiros formada por uma série de pequenos dobramentos (sinformas e antiformas) com falhas associadas, mas no ponto de vista regional forma um grande anticlinal limitado a Este pelo Vale Tifónico de Rio Maior e a Oeste pelo sinclinal de A-dos-Francos (Zbyszewski, 1959) que apesar de sofrer variações de pendor localmente originando pequenos dolmos, sinformas e antiformas, forma o 2º acidente tectónico na região. Observa-se que é um grande sinclinal pois na carta elaborada por G., Zbyszewski; et al, (1959) e guiando-se pela “formação de Montejunto”, esta a Este apresenta pendores para Oeste, e a Oeste, na bordadura do Vale Tifónico, apresenta pendores para Este, apresentando-se quase vertical junto a falha que delimita o vale tifónico do sinclinal e a medida que caminhamos para este o pendor vai diminuindo; o 3º acidente tectónico presente na região é o Vale tifónico de Caldas da Rainha (Zbyszewski, 1959) delimitado na sua bordadura por duas falhas importantes e pelas camadas do Jurássico superior, neste vale, encontra-mos a formação Hetangiana e as formações pós Plio – pliocénicas, controladas pela tectónica salina originada pela presença da formação Hetangiana. Ocorre também neste vale a maior parte das rochas ígneas presentes na região.

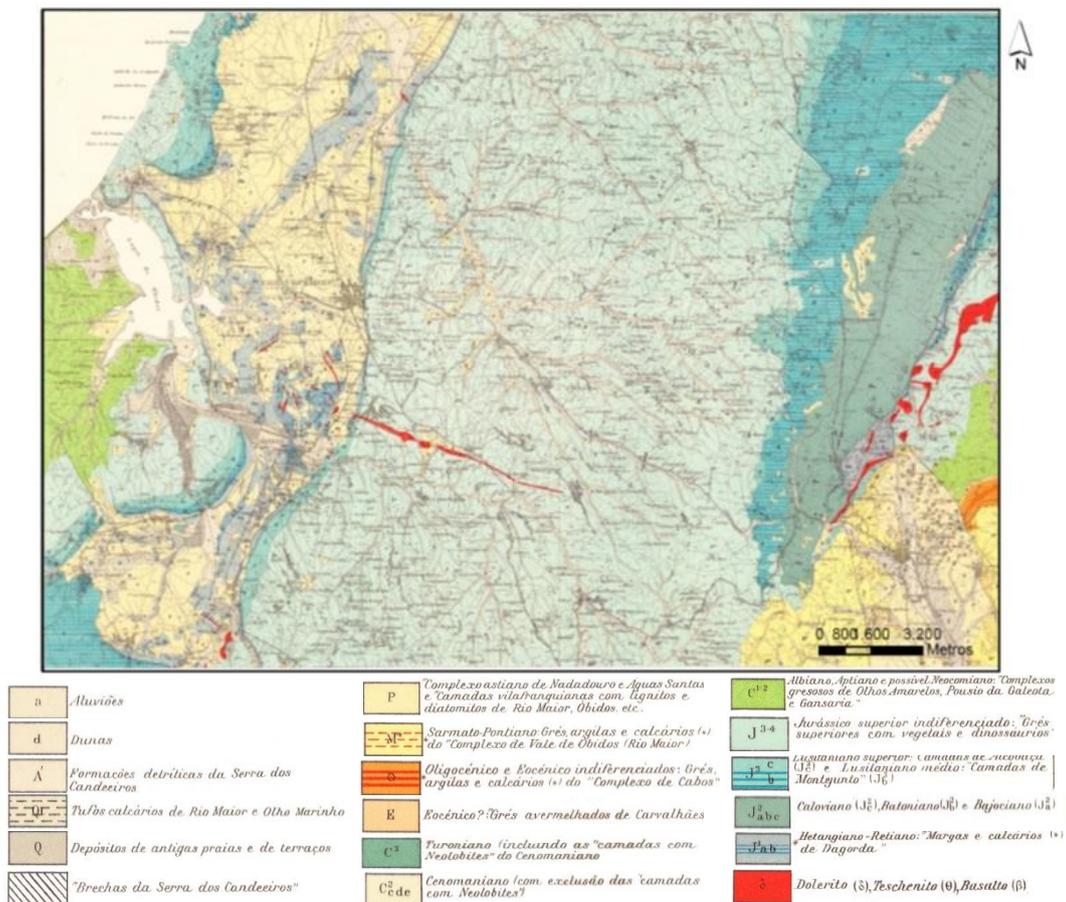


Figura 2.5 - Folha 26 D da Carta Geológica de Portugal á escala 1:50000 e respetiva legenda.

(adaptado de: Carta Geológica de Portugal 1:50.000, Folha 26D – Zbyszewski, et al, 1959)

## 2.3 Hidrológico: Climatológico e Hidrográfico

### 2.3.1 Climatológico

Como referido anteriormente, a região em estudo situa-se na Orla Ocidental centro de Portugal, esta, é caracterizada por um clima Temperado Mediterrâneo, com uma temperatura média do ar (fig. 2.6) de 14,2 °C (2007) registada na estação meteorológica sita em Barragem de Óbidos com variação da média mensal de 9.0 a 18.8 °C (tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Temperatura do ar média mensal.

(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 09-09-2015)

| Temperatura do ar média mensal (°C) na Barragem de Óbidos (17C/08C) |             |
|---|-------------|
| 01/01/2007 9:00   | 9.4         |
| 01/02/2007 9:00   | 11.4        |
| 01/03/2007 9:00   | 12.0        |
| 01/04/2007 9:00   | 13.7        |
| 01/05/2007 9:00   | 14.8        |
| 01/06/2007 9:00   | 17.2        |
| 01/07/2007 9:00   | 18.5        |
| 01/08/2007 9:00   | 18.8        |
| 01/09/2007 9:00   | 18.8        |
| 01/10/2007 9:00   | 15.8        |
| 01/11/2007 9:00   | 10.6        |
| 01/12/2007 9:00   | 9.0         |
| <b>Temperatura média anual do ar em 2007</b>                        | <b>14.2</b> |



Área de estudo

Figura 2.6 - Temperatura média anual na Região Hidrográfica 4.

(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 09-09-2015)

Relativamente à precipitação (tabela 2.2 e fig. 2.7), analisando o mesmo período chegamos a conclusão que neste ano existiram 6 meses secos (<10mm/mês) enquanto que num ano hidrológico normal, existem 2 meses secos nomeadamente Julho e Agosto.

Tabela 2.2 - Precipitação mensal na barragem de Óbidos.

| Precipitação mensal (mm) na Barragem de Óbidos (17C/08C) |              |
|--|--------------|
| 01/01/2007 9:00  | 30.6         |
| 01/02/2007 9:00  | 105.9        |
| 01/03/2007 9:00  | 27.0         |
| 01/04/2007 9:00  | 44.7         |
| 01/05/2007 9:00  | 9.3          |
| 01/06/2007 9:00  | 32.9         |
| 01/07/2007 9:00  | 9.6          |
| 01/08/2007 9:00  | 9.6          |
| 01/09/2007 9:00  | 1.5          |
| 01/10/2007 9:00  | 1.5          |
| 01/11/2007 9:00  | 1.2          |
| 01/12/2007 9:00  | 27.9         |
| <b>Precipitação anual em 2007</b>                        | <b>301.7</b> |

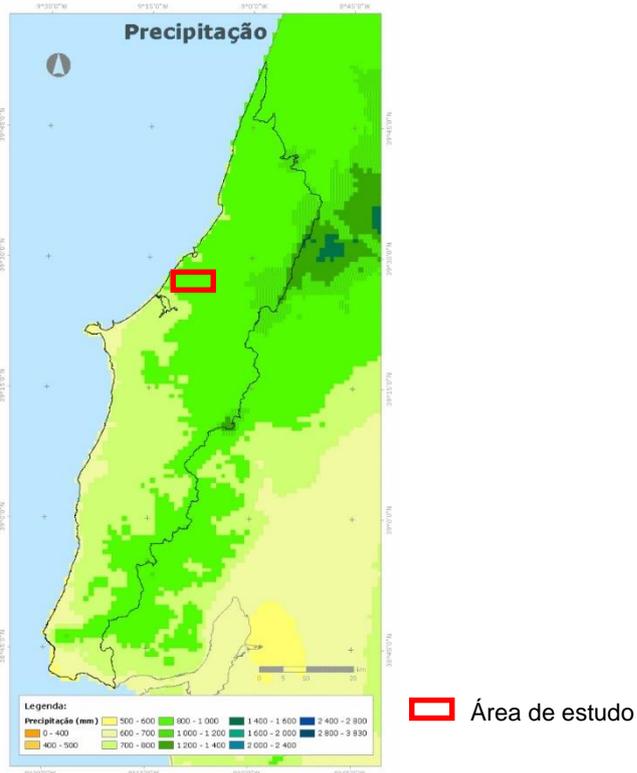


Figura 2.7 - Precipitação média anual na Região Hidrográfica 4.  
(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 09-09-2015)

### 2.3.2 Hidrográfico

Portugal está dividido em 19 Bacias Hidrográficas em que cada bacia hidrográfica engloba várias bacias a nível local. A região encontra-se enquadrada na região hidrográfica 4 (RH4) “Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste” limitada a Norte pela bacia hidrográfica “Liz e Ribeiras Costeiras”, a Este e Sul pela bacia hidrográfica do “Tejo” e a Oeste pelo Oceano Atlântico.

Esta Região Hidrográfica engloba 8 bacias hidrográficas (fig.2.8). Tem um comprimento total de 70 Km e uma largura máxima de 35 km totalizando uma área terrestre de 2412 km<sup>2</sup>, e uma área total 2798 km<sup>2</sup> considerando o plano de água das massas costeiras. Engloba 12 concelhos na sua totalidade e 5 parcialmente. Delimitada a este pelo alinhamento das Serras de Candeeiros e Montejunto, prolongando-se para Sul pelas elevações da Malveira até ao extremo nascente da Serra de Sintra.

Nesta bacia encontramos 7 rios “principais”: Alcobaça, Tornada, Arnóia, Alcabrichel, Sizandro e Lizandro.

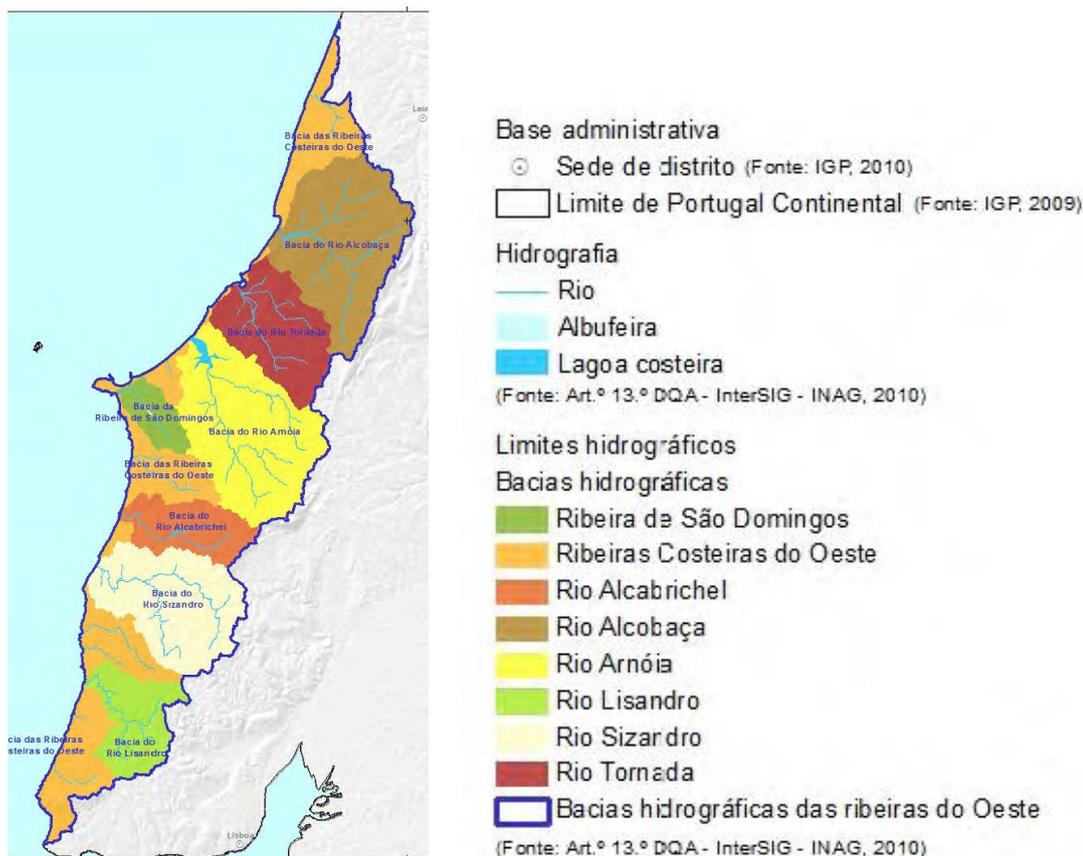


Figura 2.8 - Bacias hidrográficas das Ribeiras do Oeste (adaptado de Plano Gestão Bacia Hidrográfica RH4).

## 2.4 Enquadramento Hidrogeológico

O nosso país é pequeno em tamanho mas grande em água subterrânea, podemos encontrar neste “país à beira-mar plantado” o maior sistema aquífero da Europa em área e volume, este está caracterizado e delimitado tendo a denominação “O33 – Maciço Calcário Estremenho”. Podemos sub dividir o nosso país em 4 grandes unidades hidrogeológicas. A sua divisão foi elaborada com vista a vários critérios entre os quais os mais importantes foram os geológicos e estruturais, ao observar-se a Figura 2.9 concluímos que a Unidade Hidrogeológica colorida a amarelo, corresponde à região do país onde se encontram rochas metamórficas e ígneas ante mesozóicas, daí se designar: A- Maciço Antigo; já as unidades coloridas a Verde e a Magenta são compostas por rochas sedimentares e ígneas de idade Meso-cenozóicas e correspondem área emersa da bacia do Algarve e da bacia Lusitânica que por sua vez constituem a Orla Meso-cenozóica Meridional (ou Orla Meridional) e a Orla Meso-Cenozóica Ocidental (ou Orla Ocidental) respetivamente; por último encontra-mos a região colorida de azul, esta é a unidade hidrogeológica com rochas mais recentes, composta

por rochas sedimentares do Cenozóico e é designada de Bacia Terciária do Tejo e Sado, ou apenas, Bacia Tejo-Sado.

Cada Unidade Hidrogeológica é constituída por vários sistemas aquíferos individualizados constituídos por um ou mais aquíferos, no entanto, se forem constituídos por mais do que um aquífero estes têm de ser comunicantes, isto é, caso ocorra alguma interferência num dos aquíferos esta afeta todos os outros aquíferos, além disso, as características físico-químicas da água dos diferentes aquíferos têm de ser idênticas. Nos locais onde não é possível individualizar um sistema aquífero, considera-se um sistema aquífero único com a denominação “indiferenciado”; por exemplo, na Região Hidrográfica do Oeste (RH4) os locais onde aflora a formação Kimmeridgiana “Grés superiores com vegetais e dinossáurios” (Zbyszewski, 1959), não está individualizado nenhum sistema aquífero, por esse motivo, a massa de água subterrânea existente nessa região denomina-se por O01RH4 – Orla Ocidental Indiferenciado das Ribeiras do Oeste.

A região em estudo como já foi referido, localiza-se na zona centro – oeste da Bacia Lusitânica, o que, do ponto de vista hidrogeológico encontra-se enquadrada na região centro oeste da Orla Ocidental.



Figura 2.9 - Unidades Hidrogeológicas de Portugal Continental.

(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 09-09-2015)

### 3 Enquadramento Local

Neste capítulo iremos abordar o enquadramento local da área em estudo em vários níveis, nomeadamente: topografia e hidrografia, geológico, hidrogeológico, uso e ocupação do solo, com o intuito de fornecer dados que possam ajudar á interpretação e modelação do sistema aquífero no domínio estudado.

#### 3.1 Enquadramentos Topográfico e Hidrográfico

A zona onde se encontra o sector em estudo está enquadrada na folha N.º 326 (fig. 3.1) da Carta Topográfica de Portugal. Situa-se num vale aplanado com quotas a variar entre os 0 m e os 56 m. Os relevos mais elevados encontram-se alinhados segundo NNE-SSW que por sua vez, é mesmo alinhamento do próprio vale.

O domínio estudado está delimitado a E por um planalto com a topografia controlada pela rede hidrográfica do tipo dendrítica e maioritariamente por linhas de água não perne.

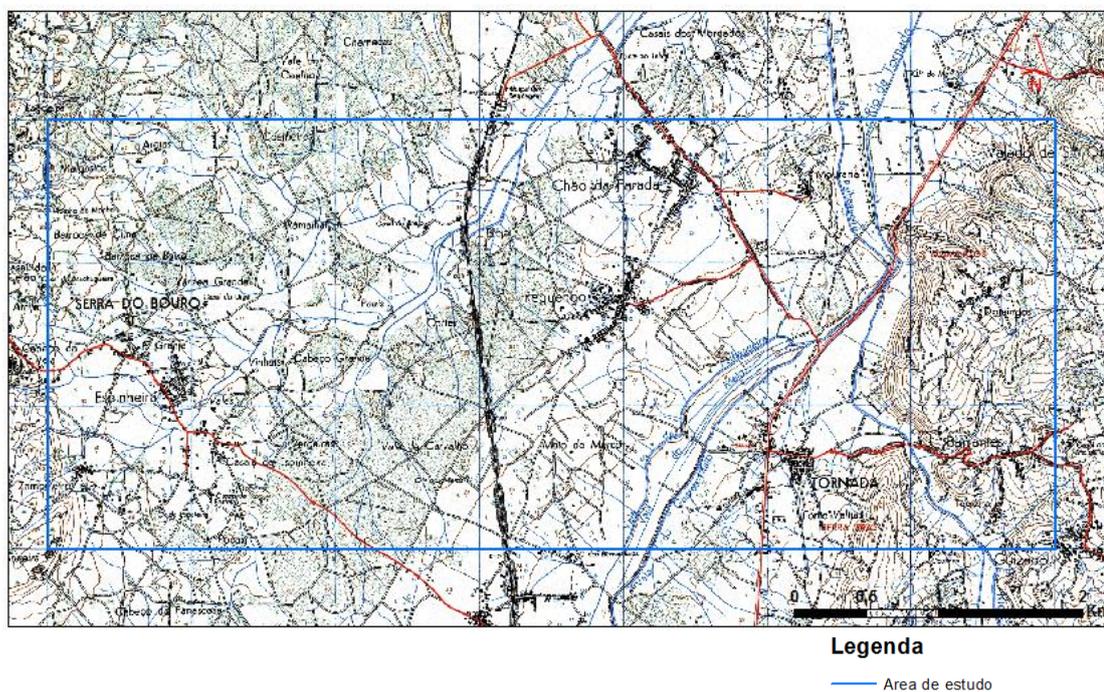


Figura 3.1 - Excerto da Folha N.º 326 da Carta Militar de Portugal.

(adaptado de: Carta Militar de Portugal 1:25.000 – Folha N.º 326, Instituto Geográfico do Exército, 1980)

A W é delimitado por uma elevação que atinge a quota máxima de 162 m (onde se situa o Vértice Geodésico de 2ª ordem “Bouro”), e que se prolonga para uma faixa com uma largura máxima de aproximadamente 3 km, enquadrada entre o Oceano Atlântico e o Vale Tifónico de Caldas da Rainha; as linhas de água são intermitentes ou efémeras, drenam para o mar e cavam vales mais ou menos abruptos ou pouco pronunciados.

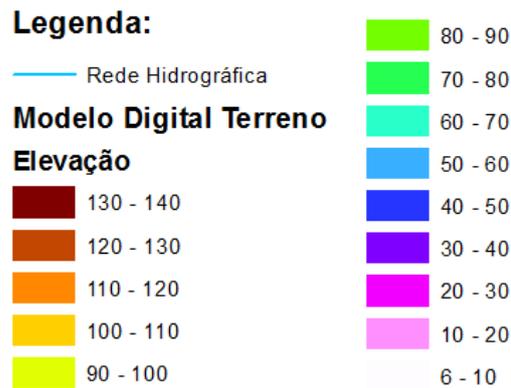
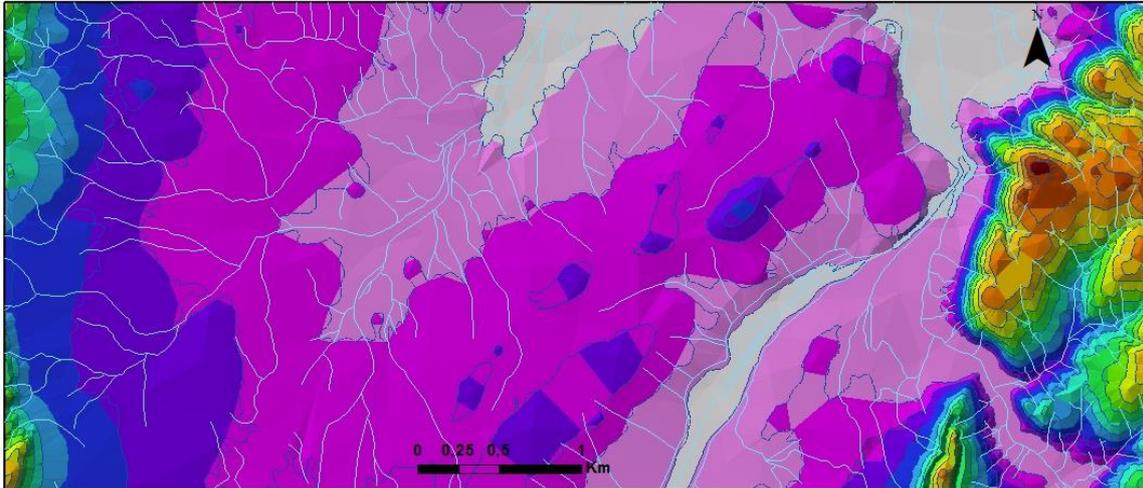


Figura 3.2 - Modelo Digital de Terreno da área em estudo.

No setor em estudo evolui apenas uma bacia e sub - bacia hidrográficas que segundo o Decreto - lei N.º 347/2007 assumem a designação de 139S – Oeste2 e 04RWD1163 – Rio da Tornada, respetivamente.

A linha de água principal é o Rio da Tornada, cujo sentido de escoamento SSE-NNW indo desaguar junto da baía de São Martinho do Porto. Esta linha de água apresenta um regime perene. O único dado disponível no portal eletrónico do Serviço Nacional dos Recursos Hídricos, é do nível hidrométrico instantâneo (gráfico 3.1).

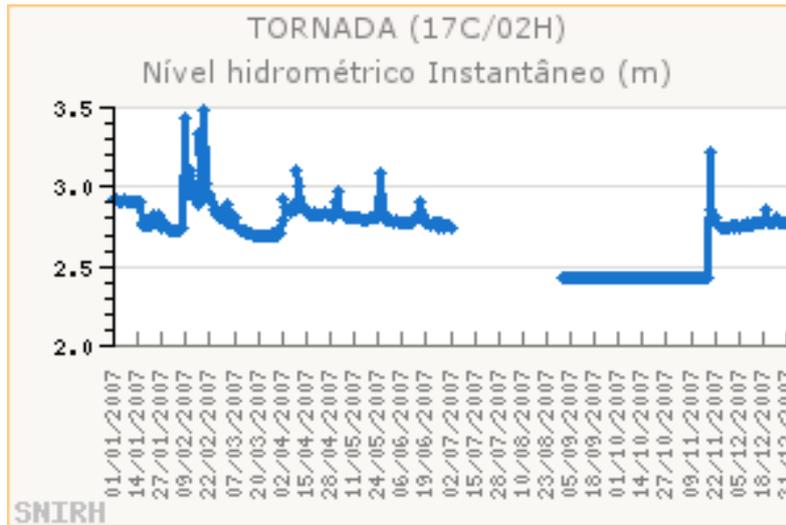


Gráfico 3.1 - Nível hidrométrico instantâneo na estação de Tornada no período de 01-01-2007 a 21-12-2007.

(adaptado de: <http://snirh.pt> – consultado no dia 09-09-2015)

### 3.2 Enquadramento Geológico e Estrutural

O local em estudo encontra-se inserido numa estrutura tectónica designada “Vale Tifónico de Caldas da Rainha” (Zbyszewski, 1959) por abranger a cidade de Caldas da Rainha. Esta estrutura formou-se por “empolamento” da Formação hetangiana designada por “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) aquando do aumento de carga litostática originada pela acumulação de sedimentos. Esta acumulação de peso associada à plasticidade característica dessa formação e a estruturas tectónicas pré existentes (falhas), impulsionou o movimento ascendente dos materiais geológicos, originando uma anti-forma delimitada a E e W pelos acidentes tectónicos referidos. A deformação provocada por este movimento ascendente foi de tal forma intensa, que proporcionou a implantação de pequenos domos e filões ígneos de rocha básica maioritariamente de composição dolerítica.

As rochas sedimentares superiores à formação plástica, apresentam-se muito fragmentadas, o que conduziu à sua rápida erosão e ao afloramento da formação hetangiana inferior.

No início do Pliocénico ocorreu na região uma grande descida do nível médio da água do mar (NMAM), (cerca de 150 metros abaixo do nível atual). Esta descida, fez com que desenvolvesse uma importante rede de drenagem na formação hetangiana. No final do Pliocénico ocorreu o preenchimento desses vales com litologias terrígenas de fáceis

continental, e mais tarde de fácies marinhas. Quando ocorreu uma nova subida do NMAM, o mar invadiu todo o vale tifónico e parte do sinclinal adjacente designado por Sinclinal de Ados-Francos (Zbyszewski, 1959).

Desde o Plistocénico ocorreram variações do NMAM devido aos ciclos de gelo-degelo vulgarmente conhecidos como “Ciclos de Würm”. Estas variações provocaram pequenas zonas de erosão/deposição no Complexo plio-pleistocénico.

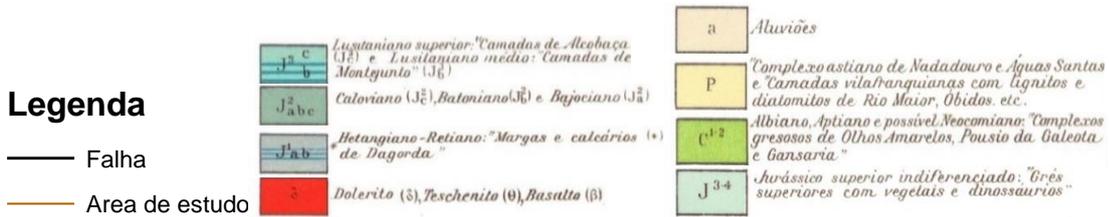
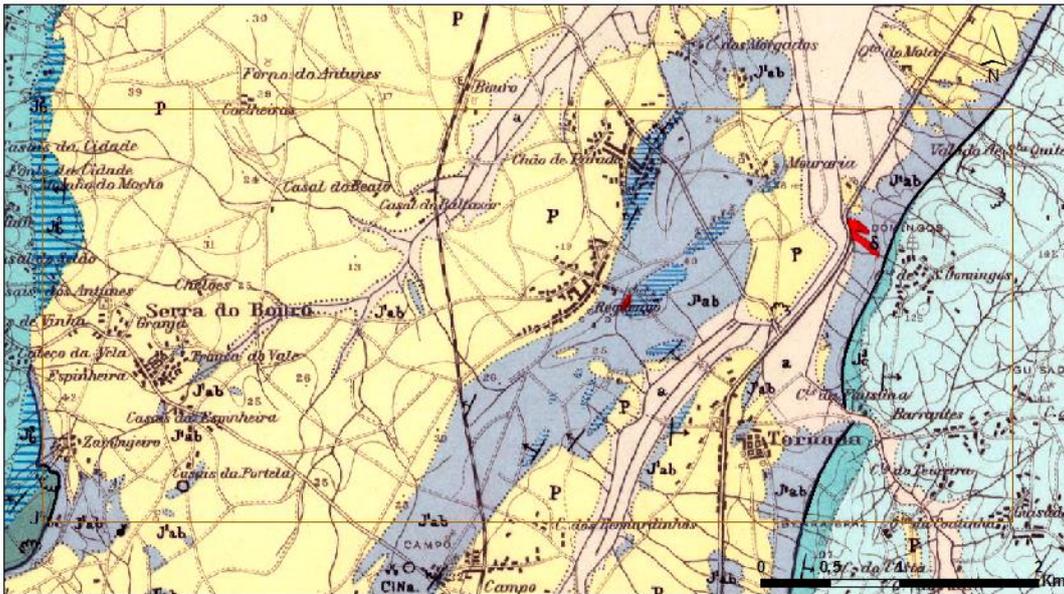


Figura 3.3 - Enquadramento geológico da área estudada em excerto da folha 26D da Carta Geológica de Portugal.

(adaptado de: Carta Geológica de Portugal 1:50.000, Folha 26D – Zbyszewski, et al, 1959)

No local estudado a estratigrafia aflorante apresenta algumas lacunas das quais se destacam:

- a ausência de formações rochosas com idade anterior ao Noriano existindo apenas rochas do Rhaetiano – Hetangiano (final Triásico superior e início do Jurássico superior);
- ocorre novamente uma lacuna no registo geológico desde o início do Jurássico superior até parte inferior do Jurássico médio (Sinemuriano – Aaleniano)

- por último, ocorre uma lacuna no registo geológicos do Cretácico superior até ao Pliocénico (Cenomaniano – Zancleano).

Estas lacunas em afloramento ocorrem devido às formações estarem apenas representadas em profundidade, ou terem sofrido erosão devido aos fatores geodinâmicos externos, ou por simplesmente, não haver episódios de sedimentação neste local naqueles períodos.

Analisando a Carta Geológica de Portugal á escala 1:5000 – Folha 26D Caldas da Rainha (fig. 3.3), encontramos a seguinte sequência estratigráfica (do mais recente para o mais antigo):

#### **- a – Aluviões**

Esta formação é composta por depósitos siliclásticos constituídos principalmente por areias siliciosas resultantes da erosão das formações gresosas do Jurássico superior e depositadas ao longo dos antigos vales originados durante as glaciações de Würm ou das planícies de inundaçãõ dos rios e ribeiras que constituem a rede de drenagem atual da região; na zona em estudo, estes depósitos não chegam à dezena de metros de espessura.

#### **- P – Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas**

As formações do Pliocénico são o principal constituinte da zona em estudo; estão divididas em 2 unidades, uma, superior, de origem marinha do período Astiano e outra, inferior, do período Vilafraquiano.

Contudo, por dificuldade cartográfica em separá-las foram anexadas na mesma formação, cuja designação é “Complexo astinano de Nadadouro e Águas Santas” (Zbyszewski, 1959). Esta formação é constituída:

- na sua base por argilas e areias de grão fino a mais grosseiras (ciclo regressivo) de cor amarela (informação recolhida em sondagens na região)

- seguidamente ocorreu a sedimentação de areias quartzíticas bem calibradas com granulometria variável de cor maioritariamente esbranquiçada, devido à presença de caulino que funciona como cimento; no entanto não muito coesivo, permitindo a que exista grande permeabilidade dentro desta unidade.

Este Complexo apresenta uma espessura máxima conhecida de 150 m e é de deposição marinha, embora ocorram zonas onde a deposição seja marinha muito pouco

profunda (quase lagunar) onde ocorrem depósitos de lignite e carvão; que outrora os depósitos mais importantes foram alvo de exploração pelo homem; é frequente além dos lignitos ocorrer diatomitos.

Nesta formação ocorre uma vasta fauna e flora fóssil identificada por Chouffat e revista em 1959 por Zbyszewski.

No local em estudo, esta formação tem dois afloramentos principais: um a W mais desenvolvido e, conseqüentemente de maiores dimensões, e um a E de menor dimensão e parcialmente coberto por material aluvionar.

### **- J<sup>3-4</sup> – Grés superiores com restos vegetais e de dinossáurios**

Atualmente esta formação é designada de “Formação de Bombarral” (Manuppella, 1996). Datada do Kimmeridgiano, é de sedimentação continental com ocorrência de fósseis de dinossáurios e fragmentos de fauna. A fauna encontra-se carbonizada, nalguns casos piritizada o que nos indica um ambiente de sedimentação anóxico.

Na base desta formação encontram-se alguns moluscos comuns à formação de Alcobaça (Zbyszewski, 1959) o que poderá indicar que a sedimentação desta Formação ocorreu ainda no Lusitaniano superior; além disso, as características litológicas apesar de no geral serem semelhantes são ligeiramente diferentes da parte superior, pois a base é constituída essencialmente por lutitos bem cimentados (com cimento ferruginoso, argiloso ou carbonatado) de cor geralmente vermelha ou acastanhada atingindo uma espessura média de 600 m.

A parte superior desta Formação é constituída por intercalações areníticas e conglomeráticas com lutitos idênticos aos da base, mas com cores variadas (amarelas, vermelhas, cinzentas, esverdeadas) mas apresentam uma espessura média de 200 m.

Segundo Zbyszewski (1959), é provável que parte desta Formação seja contemporânea do Portlandiano. A espessura total de J<sup>3-4</sup> é variável mas em média atinge os 800 m.

Os designados “restos vegetais” (Zbyszewski, 1959) (partículas de fauna carbonizada) encontram-se frequentemente em camadas constituídas por arenitos quartzíticos e micáceos de grão fino de cor azulada. Quando se encontram menos cimentadas e/ou mais fraturadas estes estratos apresentam boas aptidões aquíferas, havendo furos ali implantados com produtividades de 8 L/s.

Aquando do processo de perfuração de novos furos de pesquisa e eventual captação de água nesta Formação, é frequente a ocorrência de óleo vestigial, nomeadamente quando se atravessam as camadas com restos vegetais, ou camadas mais argilosas por vezes quase margosas de cor azulada escura/negra.

No setor em estudo esta Formação apenas ocorre no bordo oriental do vale tifónico.

### **- J<sup>3</sup><sub>c</sub> – Formação de Alcobaça**

A litologia desta Formação é composta por alternância de arenitos amarelos, vermelhos com margas avermelhadas e calcários oolíticos com inúmera fauna e flora fósseis.

Na zona em estudo, esta Formação ocorre apenas no bordo ocidental do vale tifónico estando em contato direto com: (1) a Formação hetangiana (apenas separada pela falha que delimita o bordo oriental do vale tifónico) e (2) com a Formação kimmeridgiana “Formação de Bombarral” pela falha que delimita o vale tifónico do sinclinal de A-dos-Francos.

Relativamente ao J<sup>3</sup><sub>c</sub> Zbyszewski afirma na Notícia explicativa da folha 26D da Carta Geológica de Portugal que neste bordo, a formação aflorante existente é a Formação das “Camadas de Abadia”; no entanto na mesma Carta, o autor não assume a existência desta Formação, assumindo que apenas existe a Formação de Alcobaça, contudo, na zona em questão, a simbologia utilizada é a mesma para ambas as Formações.

### **- J<sup>3</sup><sub>b</sub> – Formação de Montejunto**

As litologias de J<sup>3</sup><sub>b</sub> afloram no local em estudo, nomeadamente no bordo ocidental do vale tifónico, e apresentam pouca expressão cartográfica, com inclinações bastante acentuadas para W diminuindo o seu pendor a medida que caminhamos no mesmo sentido.

É constituída por calcários oolíticos de cor azulada com intercalações margosas da mesma cor. Nas camadas calcárias é comum a presença de fósseis dos filos gastrópoda e molusca, mas é nas intercalações margosas que estes estão mais presentes. Em algumas camadas margosas e calcárias, alguns dos fósseis encontram-se piritizados.

### **- J<sup>2</sup><sub>abc</sub> – Caloviano, Batoniano e Bajociano**

As Formações com estas idades do Jurássico médio foram agrupadas na cartografia, devido à dificuldade de se separarem no afloramento principal situado na serra dos

Candeeiros. No entanto, no sector em estudo, a sua separação é possível com a ajuda da Paleontologia.

No pequeno afloramento localizado na Serra do Bouro, apenas foi identificado o Batoniano que é constituído por calcários e margo-calcários acinzentados e esbranquiçados, tornando-se mais compactos na parte superior com alguns gastrópodes como *Nereia* e *Pseudomelania*; seguidos de calcários abundantes em *Nerinea* mas sem oólitos.

#### - J<sup>1</sup><sub>ab</sub> – Margas e Calcários de Dagorda

A Formação de Dagorda é essencialmente pelítica, constituída na sua base por argilas vermelhas e cinzentas mais ou menos margosas, com fauna e flora marinha fósseis e com presença de minerais como halite, anidrite e gesso, característicos de ambientes deposicionais hipersalinos. Na parte superior desta formação ocorrem níveis essencialmente dolomíticos, por vezes intercalados com camadas idênticas às da base.

Na zona estudada, esta Formação aflora junto à localidade de Chão da Parada, segundo um alinhamento NNE-SSW. Constitui o núcleo de um anticlinal com alguns afloramentos dolomíticos nos seus bordos. Noutros locais, ocorrem pequenos afloramentos desta Formação localizados: (1) entre o anticlinal e os bordos do vale tifónico constituídos por camadas pelíticas e (2) em duas faixas também pelíticas na bordadura do vale tifónico que estão em contacto direto com as formações do Jurássico superior.

Desconhece-se a espessura desta formação no vale tifónico de Caldas da Rainha. No entanto, esta é superior a 300 metros junto a localidade de Avarela no concelho de Óbidos.



Figura 3.4 - Afloramento e pormenor do Plio-pleistocénico.



Figura 3.5 - Pormenor da Formação Margas e Calcários de Dagorda (Membro carbonatado).

## - 6 - Dolerito

Para além das Formações sedimentares acima mencionadas, ocorrem no local estudado rochas ígneas epivolcânicas. Ocorrem em pequenos afloramentos que cortam todo o Jurássico, mas, em nenhuma zona da Carta Geológica estas rochas intercetam as formações pós-jurássicas. Assim, pode-se afirmar que estes corpos serão pós-Kimmeridgianos ou possivelmente do Tithoniano.

Estas rochas foram classificadas como doleritos olivínicos, através de estudos químicos realizados em várias amostras colhidas durante a realização da cartografia de superfície (G., Zbyszewski; et al, 1959). Os doleritos aparecem em forma de domos e filões. No setor em estudo apenas são visíveis pequenos domos, e possuem a seguinte composição mineralógica média: plagioclase (50-60 % Na) albitizada na sua bordadura, augite, magnetite, biotite, apatite rara pirite e esfena e nos espaços intersticiais ocorre anfíbola sódica e clorite (Zbyszewski, G.; 1959)

A atitude geral e as coordenadas geológicas das diversas formações e depósitos ocorrentes na zona em estudo são variáveis dependendo da idade e da localização.

Na bordadura oriental do vale tifónico as formações do Jurássico superior encontram-se fortemente inclinadas para E com pendores quase verticais, diminuindo o seu valor à medida que caminhamos para E, dentro do vale tifónico. A formação Hetangiana apresenta estratificação com valores muito diferentes, sendo possível observar um anticlinal com direção NE-SW entre Chão da Parada e de Campo. Apresenta pequenas variações locais e no bordo oriental do vale é difícil a medição da sua estratificação, pois não existem bons afloramentos

para a sua medição. O mesmo problema existe no bordo ocidental, assim como nos pequenos “ilhéus” com afloramento desta Formação.

As camadas plio-pleistocénicas, assim como, as aluviões apresentam estratificação horizontal, por vezes sub horizontal quando afetadas pelo ajustamento diapírico. Junto ao bordo ocidental do vale tifónico as formações jurássicas apresentam uma forte inclinação para W diminuindo até cerca de 30° à medida que caminhamos no mesmo sentido.

Do ponto de vista estrutural, mais concretamente a nível da fracturação, encontramos dois alinhamentos principais:

- NNE-SSW, que corresponde às grandes falhas que delimitam o vale tifónico e atingem o soco Hercínio;
- NW-SE, ocorrem junto à localidade de Serra do Bouro diversas falhas com orientações NW-SE, cuja orientação também está presente noutros locais do vale tifónico.

A organização espacial das diferentes formações sedimentares está fortemente condicionada pelo diapirismo, sendo a formação hetangiana a principal responsável por este processo tectónico o qual originou uma estrutura anticlinal assimétrica (fig. 3.6) com eixo orientado NNE-SSW.

Os vales criados pela geodinâmica externa foram posteriormente preenchidos por areias do Plio- pleistocénico formando uma superfície aplanada em que os ponto mais elevados corresponde a pequenas ilhas e afloramentos quer da formação Hetangiana quer de rochas epivulcânicas que se instalaram durante o processo de formação do diapiro.

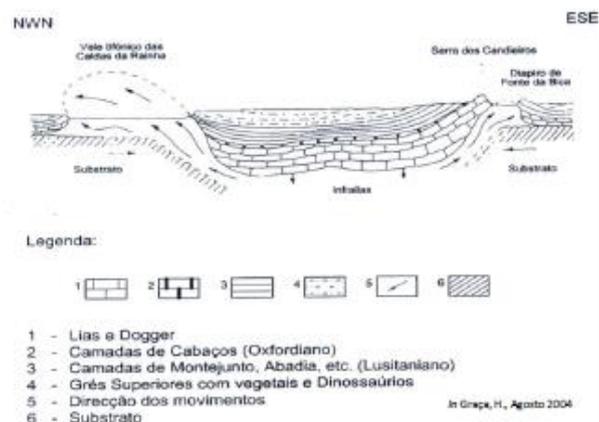


Figura 3.6 - Perfil interpretativo mostrando a posição dos Vales Tifónicos das Caldas da Rainha e Fonte da Bica (Rio Maior) (Soares, et al, 2000)).

### 3.3 Hidrogeológico

O domínio em estudo insere-se no sistema aquífero de Caldas da Rainha – Nazaré. Este sistema é do tipo multicamada livre a confinado (Marques, 2000).

Este sistema evoluiu nas formações plio- plistocénicas e modernas (aluviões). A base do mesmo é constituída pela Formação das “Margas e calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959). Apresenta uma espessura máxima na ordem dos 150 m, uma espessura mínima aproximada de 20 m e uma média estatística de 70 m (Marques, 2000). O Sistema aquífero apresenta uma geometria muito variável condicionada pela estrutura diapírica, chegando a apresentar uma variação de profundidade na ordem das dezenas de metros numa extensão de uma centena de metros, o que torna muito imprevisível a seleção de bons locais produtivos sem recurso a técnicas de geofísica.

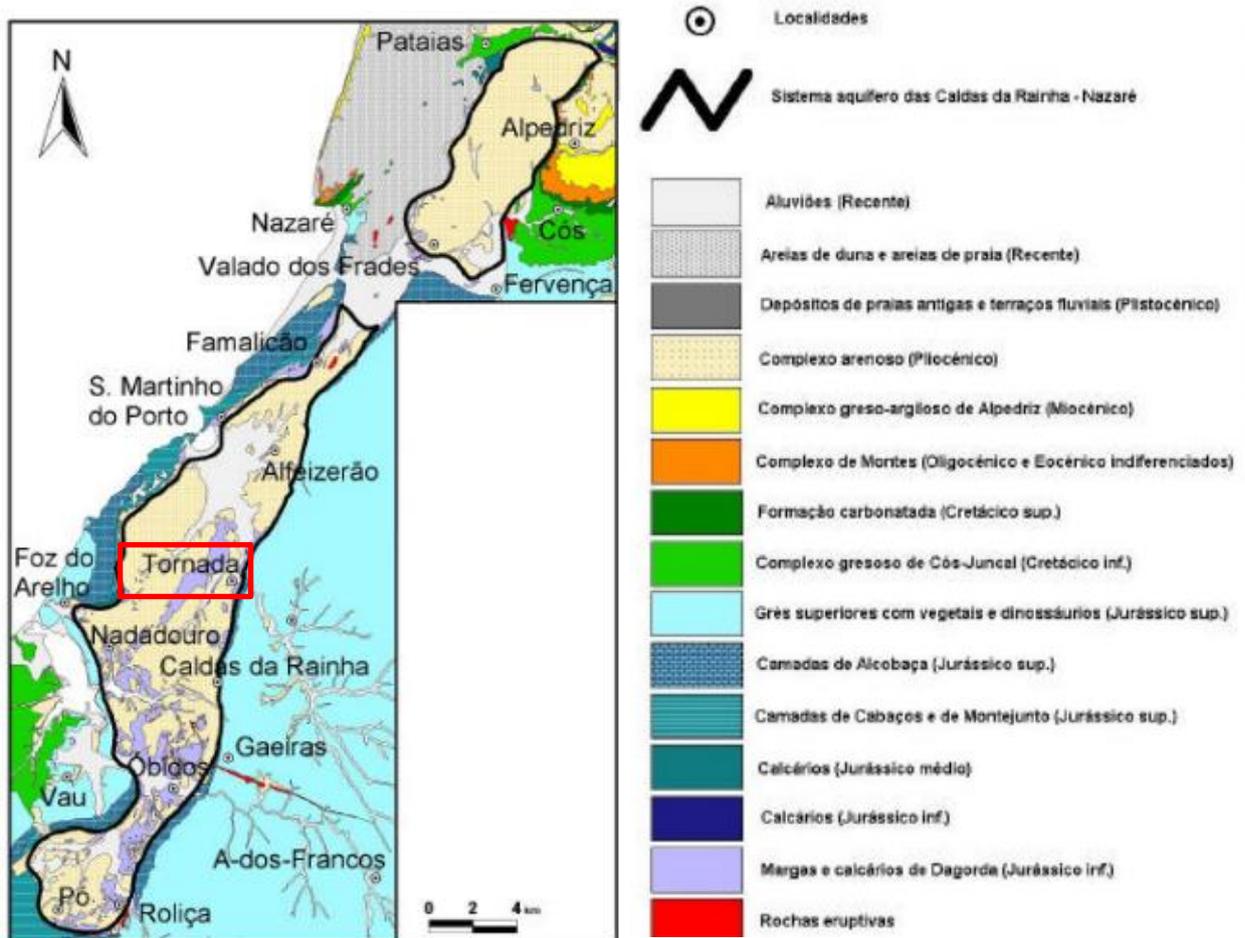


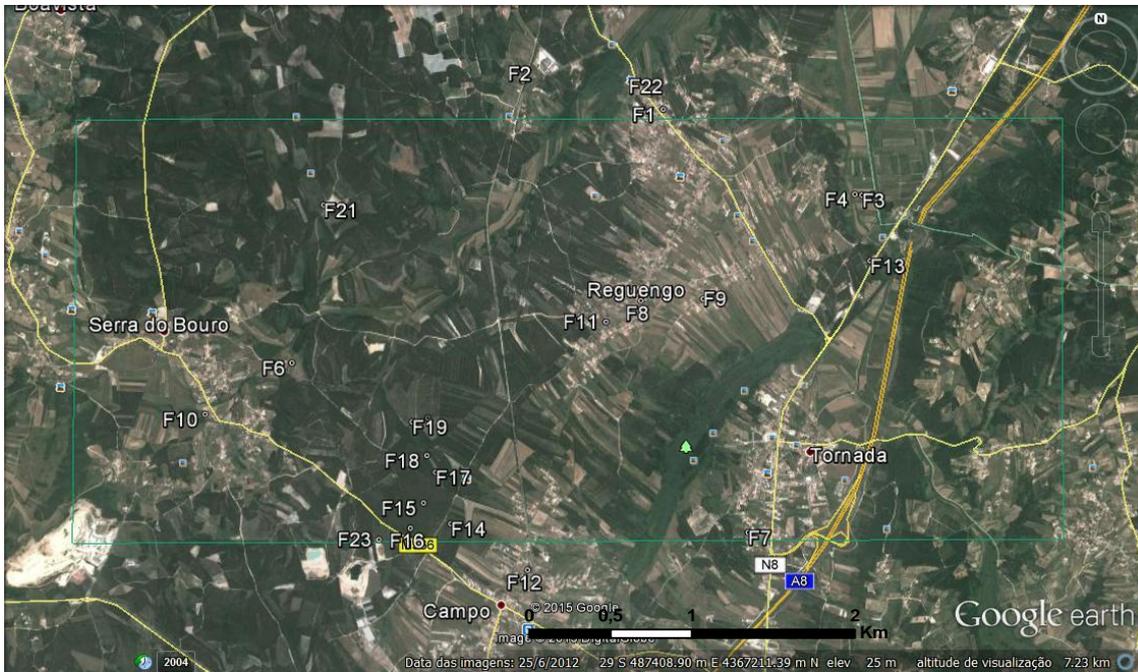
Figura 3.7 - Sector em estudo do Aquífero O33 - Caldas da Rainha - Nazaré

(adaptado de: Sistemas Aquíferos de Portugal – O33: Caldas da Rainha – Nazaré, Soares, et al; 2000).

A produtividade aquífera está diretamente interligada com a espessura da formação plio-pleistocénica. É igualmente condicionada pela ocorrência de camadas de lignitos que aparecem incorporadas no meio das areias plio-pleistocénicas, ocorrendo em certos casos mais de um nível de lignitos. Apresentam espessuras que variam de 0,5 a 14,5 m com e uma continuidade lateral significativa chegando a ser intercetadas por várias captações. Segundo Saraiva e Peixinho de Pinto (1994), a transmissividade aquífera varia entre os 30 e os 450 m<sup>2</sup>/dia.

A recarga deste aquífero ocorre maioritariamente por infiltração direta da pluviosidade. Pode ocorrer em certos locais recarrega a partir das linhas de água. Considerando uma infiltração profunda de 15 a 20% da precipitação atmosférica na área do Sistema aquífero e uma pluviosidade média anual de 650mm, a recarga aquífera é próxima dos 16 a 20 hm<sup>3</sup>/ano.

A inexistência de mais dados não permite contabilizar a quantidade de água subterrânea extraída do aquífero em análise. No entanto, este está classificado como medíocre, quanto ao seu estado de sustentabilidade qualitativa e quantitativa. Este facto deve-se a vários fatores como: (1) sobre-exploração aquífera, (2) contaminação aquífera de origem superficial e subterrânea por má construção de alguns furos de captação de água subterrânea quando estes atingem a Formação de Dagorda (Zbyszewski, 1959) e intercetam níveis aquíferos com águas de má qualidade.



**Legenda:** — Área de estudo    ◉ Furos

Figura 3.8 - Localização das captações seleccionadas na área em estudo e área envolvente.

Tabela 3.1 - Dados parciais das captações selecionadas.

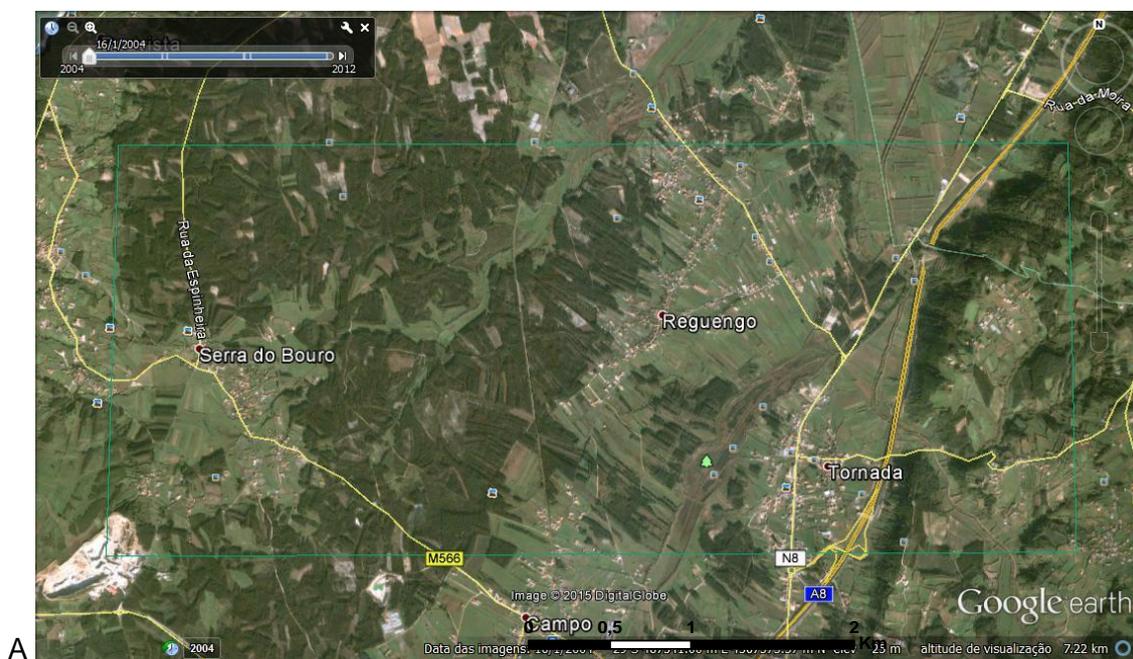
| Dados Selecionados |                                |            |          |           |              |
|--------------------|--------------------------------|------------|----------|-----------|--------------|
| Nome               | Coordenadas UTM WGS84 Fuso 29N |            | Cota (m) | Prof. (m) | Caudal (L/s) |
|                    | Lat.                           | Long.      |          |           |              |
| F1                 | 488057,08                      | 4368894,05 | 7        | 72        | 2,22         |
| F2                 | 487036                         | 4369100    | 15       | 80        | 22,22        |
| F3                 | 489497,24                      | 4368262,15 | 23       | 24        | 3,33         |
| F4                 | 489444,92                      | 4368268,08 | 23       | 24        | 4,17         |
| F5                 | 489576,35                      | 4368269,75 | 23       | 24        | 3,33         |
| F6                 | 485362                         | 4367048    | 25       | 57        | 1,39         |
| F7                 | 488664                         | 4365810    | 25       | 60        | 3,33         |
| F8                 | 487890                         | 4367495    | 41       | 30        | 2,78         |
| F9                 | 488341                         | 4367508    | 25       | 46        | 2,22         |
| F10                | 484744                         | 4366678    | 34       | 93        | 2,78         |
| F11                | 487637                         | 4367342,6  | 25       | 63        | 1,39         |
| F12                | 487066                         | 4365540    | 25       | 60        | 1,39         |
| F13                | 489551                         | 4367784    | 16       | 45        | 1,50         |
| F14                | 486511,66                      | 4365877    | 20       | 12        | 0            |
| F15                | 486314,01                      | 366029,94  | 28       | 81        | 3,61         |
| F16                | 486219,51                      | 4365846,68 | 31       | 102       | 9,17         |
| F17                | 486401,88                      | 4366252,05 | 25       | 90        | 11,11        |
| F18                | 486338,04                      | 4366373,01 | 25       | 100       | 11,11        |
| F19                | 486232,11                      | 4366618,89 | 26       | 120       | 11,11        |
| F20                | 486346,89                      | 4366646,13 | 26       | 94        | 11,11        |
| F21                | 485594,98                      | 4368195,35 | 25       | 126       | 13,89        |
| F22                | 481890                         | 4351765    | 20       | 53        | 1,67         |
| F23                | 485992                         | 4365765    | 30       | 50        | 1,11         |

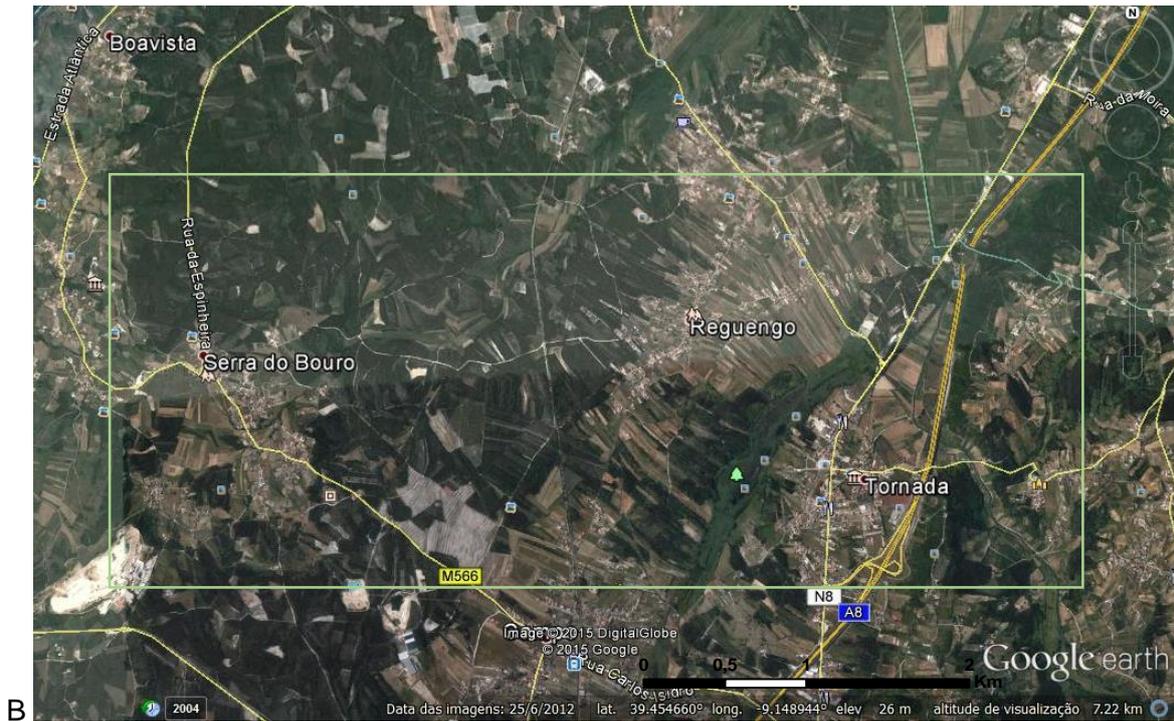
### 3.4 Uso e Ocupação do Solo

O setor em estudo apresenta solos de dois tipos: solos argilosos e solos arenosos. O tipo de solo está diretamente ligado com a geologia de superfície sendo que os solos arenosos encontram-se nos locais aflorantes das formações plio-pleistocénicas, enquanto que, os solos argilosos existem nos locais onde as restantes formações afloram. Analisando o local através de imagens de satélite ou in situ, conclui-se que nos locais onde existem os solos argilosos neles existem maioritariamente áreas urbanas com a presença de alguma vegetação herbácea e arbórea, em locais onde existem os solos arenosos são utilizados para atividade agrícola (hortícolas e viveiros de bacelo), explorações florestais de eucalipto e pinheiro, assim como para pequenos agregados urbanos.



Figura 3.9 - Aspeto geral da zona em estudo evidenciando o uso e ocupação do solo.





**Legenda:**

— Area de estudo

Figura 3.10 - Evolução do uso dos solos entre A -2004 e B - 2013 (imagem *Google Earth*®).

## **4 Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré: Hidrodinâmica e Modelação Geométrica do Sector Central (Tornada)**

Neste capítulo discriminam-se os critérios de recolha e seleção dos dados utilizados para a elaboração deste trabalho, assim como os resultados obtidos relativamente à hidrodinâmica subterrânea e à modelação geométrica do sistema aquífero no setor analisado.

### **4.1 Dados Base**

Como foi referido anteriormente, o estudo baseia-se fundamentalmente na análise de relatórios de furos. Assim, foram selecionados 23 furos de captação de água subterrânea, sendo que, 19 destes encontram-se dentro do setor em estudo e 4 destes encontram-se nas imediações da referida zona. Os dados foram gentilmente cedidos por uma empresa cuja principal atividade é a realização de furos de pesquisa e captação de águas subterrâneas que realiza trabalhos na zona centro de Portugal há aproximadamente 25 anos. Por solicitação da própria Empresa, esta não é referida. Os dados disponibilizados incluem os relatórios finais de cada captação, os quais foram entregues, inicialmente na Ex Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) entidade responsável pelas fiscalização e licenciamento da exploração de águas subterrâneas até ao ano de 2011 e posteriormente na Administração de Região Hidrográfica – Tejo (ARH) membro da Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

#### **4.1.1 Critérios de seleção dos dados**

Devido à elevada quantidade de relatórios disponibilizados, foi necessário aplicar uma série de critérios de seleção, de forma a reduzir o número de dados a utilizar. Assim sendo, o principal critério utilizado foi a localização geo-estrutural dos furos, isto é, só foram utilizados dados de captações subterrâneas que se encontravam dentro do limite do vale tifónico de Caldas da Rainha. Como segundo critério, foi utilizado a localização geográfica, ou seja, apenas os furos implantados dentro do sector em estudo ou nas suas proximidades (distância máxima de 250 m). Outro critério utilizado expressa no log litológico de cada furo: foi dada

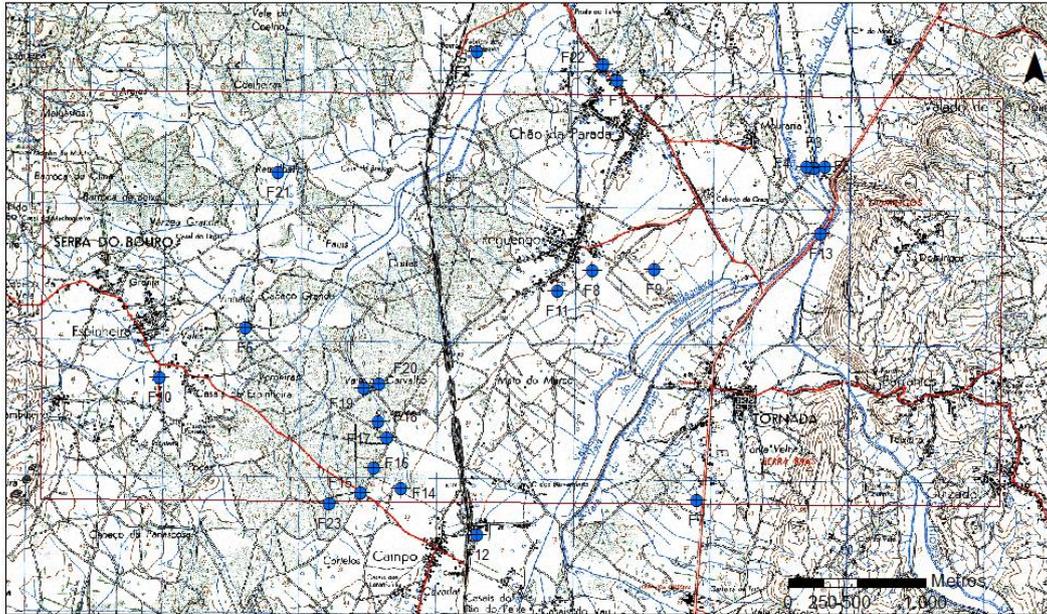
prioridade aos furos que atingem e intercetassem a Formação das “Margas de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) para assim se conseguir modelar com maior fiabilidade a geometria da base do Sistema Aquífero em análise. Como último critério de seleção, aplicou-se o enquadramento hidrogeológico, mais precisamente a limitação dos furos captarem água do Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré (Soares et al, 2000) e dentro deste, apenas na Formação Plio-pleistocénica do “Complexo astiano de Nadadouro e Águas Santas” (G., Zbyszewski; et al, 1959),

À partida, o total de dados disponibilizados ultrapassava as 5 centenas de captações e respetivos relatórios. Após o primeiro critério, reduziu-se o número para menos de metade. Aplicando o segundo e o terceiro critérios o número de dados reduziu significativamente não chegando a 3 dezenas. A aplicação do último critério, veio reduzir para 19 o número de pontos. No entanto, os pontos eliminados na aplicação do último critério foram utilizados para efetuar a modelação geométrica da base do aquífero, com o intuito de tornar os contornos laterais mais realistas.

Os furos implantados fora da zona em estudo (localizados nas imediações), foram utilizados para este trabalho para que o número de pontos não fosse muito reduzido e a modelação se tornasse mais realista.

#### **4.1.2 Localização e Características Gerais das Captações**

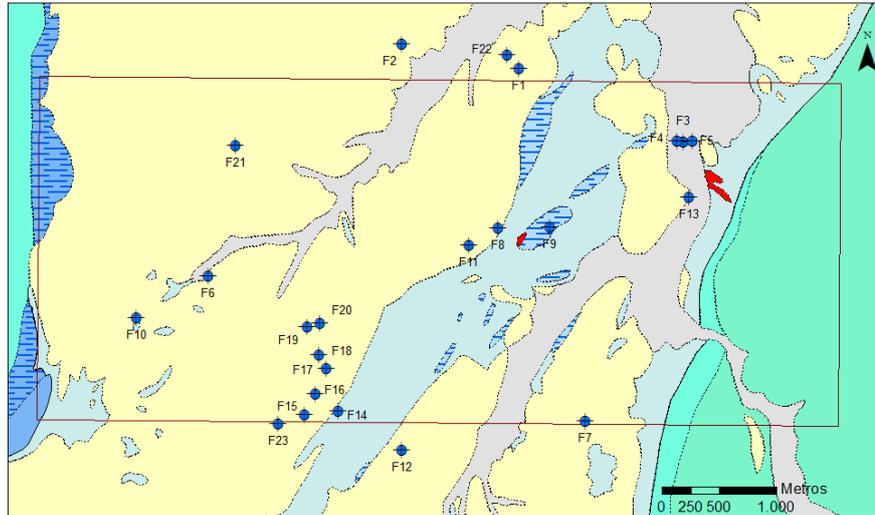
Os furos de captação de água subterrânea encontram-se localizados em propriedades privadas e todos eles são utilizados para rega em explorações, quer de pequena dimensão como horta familiar, jardim e relvado, ou pequenas áreas de pomar (consumo familiar), quer para grande áreas agrícolas, nomeadamente produção de hortícolas, bacelo e legumes. Devido ao motivo atrás mencionado, não foi possível obter registo fotográfico de todas as captações, conseguindo-se apenas autorização para efetuar aquele registo em duas captações. Nas figuras abaixo observa-se a localização geográfica (fig. 4.1) e geológica (fig. 4.2) das captações selecionadas.



**Legenda**

— Área em estudo

Figura 4.1 - Localização dos furos selecionados para o presente estudo em fragmento da Carta Militar de Portugal, Folha 326.



**Legenda**

- Área em estudo
- Falha
- Calcários de Dagorda
- Formação de Montejunto
- Complexo Astiniano de Nadadouro e Águas Santas
- Doleritos
- Margas de Dagorda
- Aluvião
- Camadas de Alcobaça
- Grés Superiores com restos vegetais e Dinossauros
- Bajociano, Batoniano e Calvoniano

Figura 4.2 – Enquadramento geológico dos furos selecionados para o presente estudo sobre documento adaptado da Carta Geológica de Portugal 1:50000 – Folha 26D (Zbyszewski, 1959).

Dos 23 pontos selecionados para este trabalho, 1 corresponde a um furo de pesquisa que não foi transformado em captação (F14), 5 encontram-se fora da área de estudo (F1, F2, F7, F12 e F22) e 2 estão a captar água nas camadas carbonatadas da Formação das “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) (F8 e F9). Na tabela do Anexo I encontra-se a informação retirada e sintetizada dos relatórios finais das sondagens-furos. Alguns dados são retirados diretamente dos relatórios, enquanto que outros foram obtidos através de pequenos cálculos e interpretação dos dados ali contidos.

Os dados retirados diretamente dos relatórios são:

- localização geográfica;
- litologia;
- características estruturais e de construção: profundidade (topo e base), caudal, localização de ralos; diâmetro de perfuração e o diâmetro da coluna de revestimento.

Para além destas características, a informação retirada dos relatórios permitiu inferir os seguintes elementos: cota aproximada da superfície (através da carta topográfica), estratigrafia (através da análise do registo litológico), enquadramento hidrogeológico (profundidade da base e espessura saturada correspondente à diferença entre a profundidade de topo e base).

Relativamente às coordenadas geográficas, os relatórios anteriores a 2013 utilizavam coordenadas Hayford Gauss Datum Lisboa, enquanto que os posteriores a essa data utilizavam coordenadas geográficas datum WGS84. Assim, de forma a uniformizar os valores, todas as coordenadas foram transformadas para UTM WGS84 fuso 29N. Durante o reconhecimento de campo, foram visitadas as captações F16 (fig. 4.3A e 4.3 B) e F19 (fig. 4.5A e 4.5B) e foi obtida autorização dos respetivos titulares para obter e utilizar imagens das mesmas neste trabalho. Em baixo é apresentado o quadro síntese exemplificativo das captações F16 e F19, um log litológico (fig. 4.4 e 4.6) e estrutural simplificado de cada uma das captações e fotografias das mesmas.



Figura 4.3 – A - Furo F16 e sua envolvente (1) Manilha e tampa de proteção; B – Pormenor do Furo F16 (2) – Isolamento superficial; (3) Tubo PVC; (4) – Tampa de proteção.

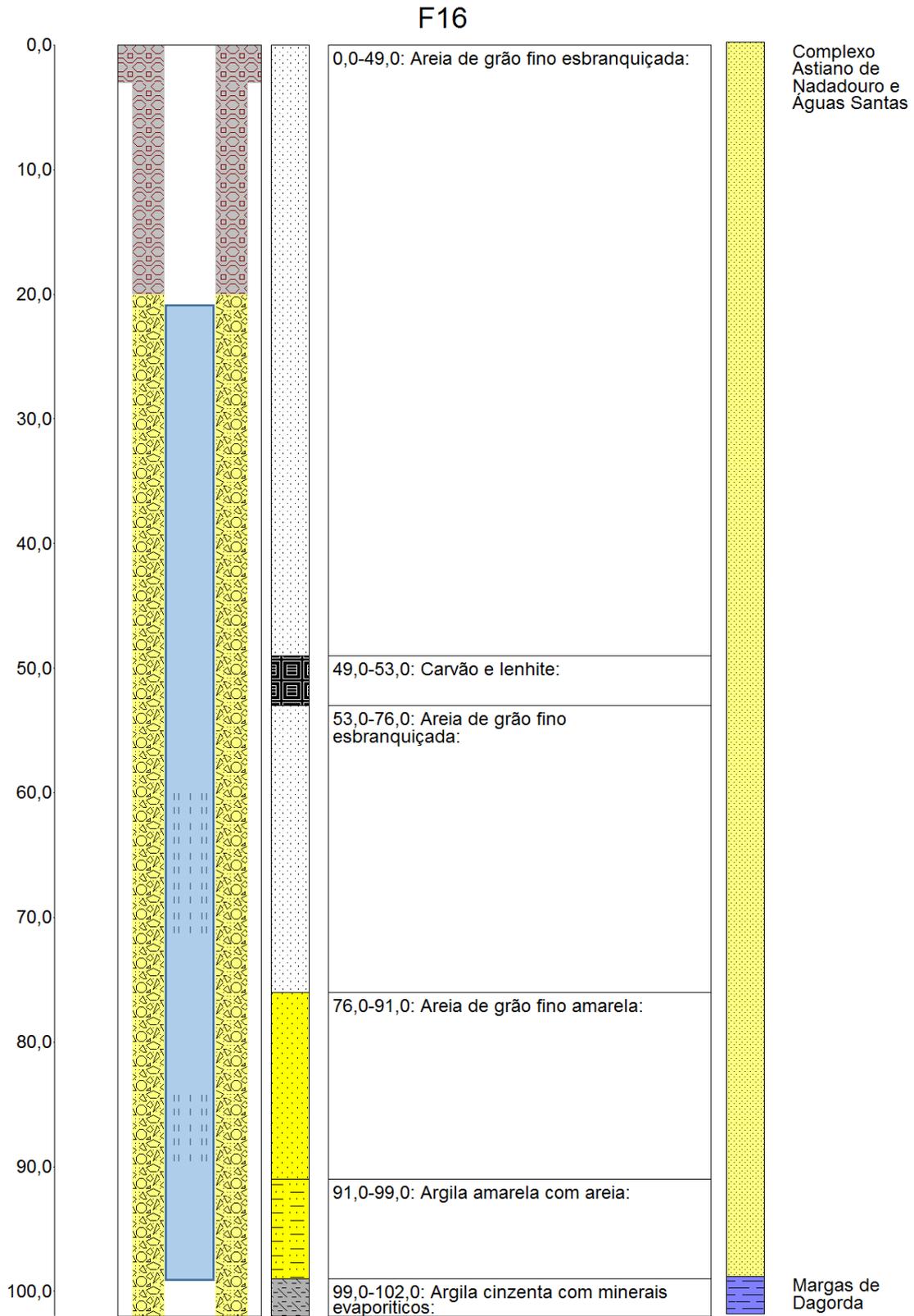


Figura 4.4 - Log geológico e estrutural simplificado do furo F16.



Figura 4.5 – A - Furo F19 e a sua envolvente; B – Pormenor do Furo F19 (1) – Tubo de PVC; (2) – Tampa de proteção; (3) – isolamento superficial (camuflado pela areia); (4) – Conduto de elevação da electrobomba submersível.

F19

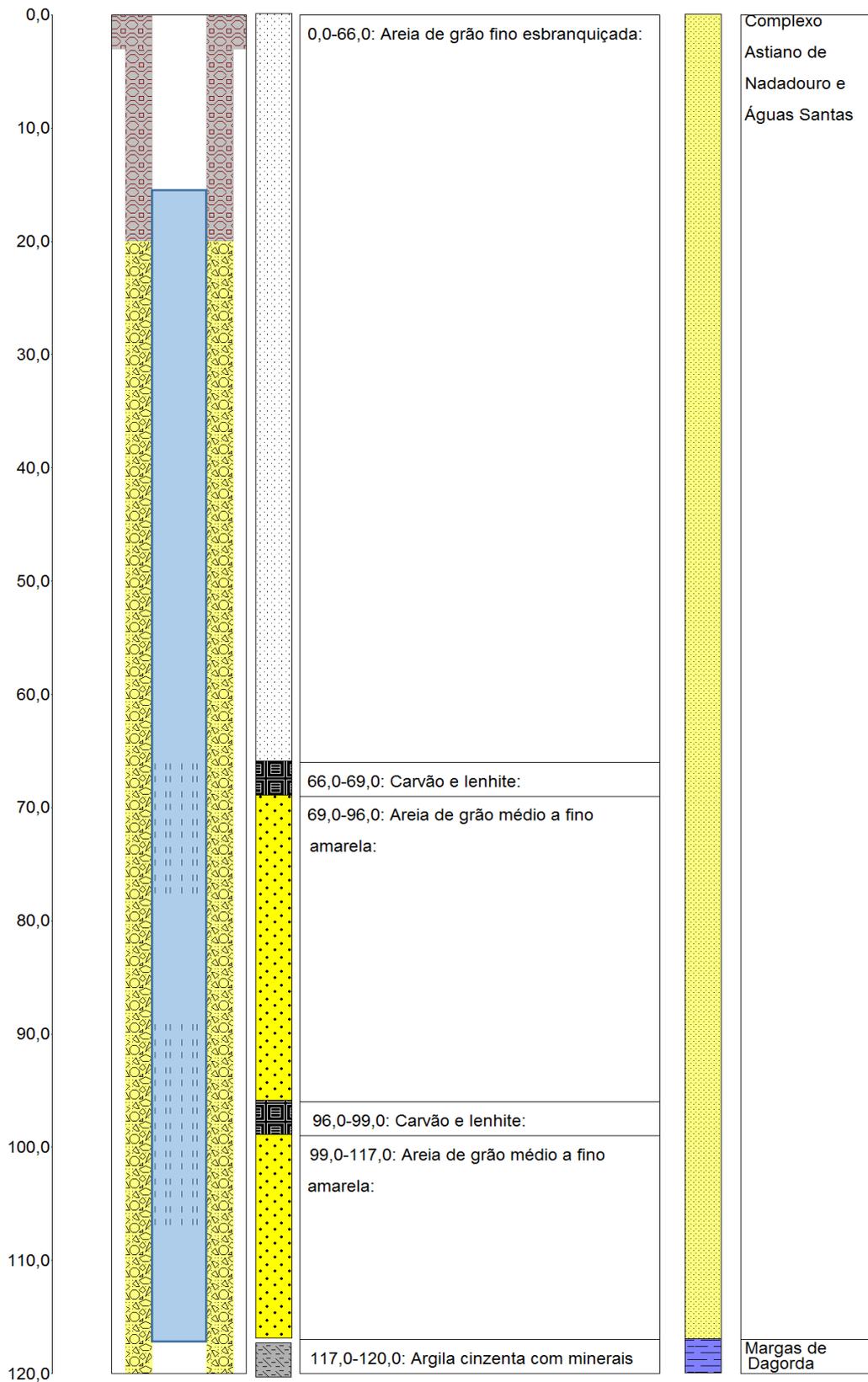


Figura 4.6 - Log geológico e estrutural simplificado do furo F19.

### 4.1.3 Métodos de perfuração utilizados

Para a execução de sondagens no meio geológico onde se encontra a zona em estudo existem três processos de perfuração, dois para formações sedimentares detríticas pouco consolidadas (formações macias a médias) como o “Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas” (Zbyszewski, 1959), e o terceiro é utilizado para formações ígneas, metamórficas, e sedimentares muito consolidadas (formações médias a rijas) como as rochas carbonatadas, os filões doleritos e as “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959).

Os dois processos utilizados nas formações macias a médias são: rotação à circulação direta e rotação à circulação inversa, em ambos são utilizadas lamas bentoníticas compostas por água e bentonite. A bentonite (figura 4.13C) é uma argila expansiva com características especiais que permite: aumentar a densidade e viscosidade da água ajudando á remoção dos detritos resultantes da perfuração, formar o cake para estabilizar as paredes do furo de modo a não ocorrer deslizamentos de materiais rochosos em cima da ferramenta de perfuração, aumentar o rendimento da perfuração, mantendo os detritos em suspenso quando não existe circulação (por exemplo, quando é acrescentada uma nova vara de perfuração). Os procedimentos são os mesmos para ambos os sistemas de perfuração, apenas existe uma diferença - o sentido de circulação das lamas: enquanto que, na circulação direta (figura 4.8A) a lamas circulam no sentido descendente pelo interior das varas de perfuração e no sentido ascendente, pelo exterior das varas de perfuração, na circulação inversa (figura 4.8B) as lamas no sentido descendente circulam pelo exterior das varas de perfuração e no sentido ascendente pelo interior das varas de perfuração.

Para a execução de um furo pelo método de rotação à circulação direta (Fig. 4.9) é necessário o seguinte equipamento: máquina perfuradora (Fig. 4.10), ferramentas de corte tais como, tricone de dentes de aço (Fig. 4.11A), dentes de tungsténio (Fig 4.11B) e trialeta com estabilizador (Fig. 4.11C), varas de perfuração de parede simples (Fig. 4.12A), bomba de lamas (Fig. 4.12B e 4.12C), hidrociclone para separação de finos das lamas (Fig. 4.13B), misturador de bentonite (Fig. 4.13A).

Para a execução de um furo pelo método de rotação á circulação inversa o equipamento utilizado é o mesmo da rotação á circulação direta. Apenas se acrescenta um equipamento específico e um novo tipo de varas. Assim sendo, o equipamento a acrescentar é um compressor de pequenas dimensões. As varas de perfuração utilizadas neste sistema são de paredes duplas (no tubo interior sobe a lama bentonítica, e entre o tubo interior e o exterior, é injetado ar comprimido para criar o efeito de sucção) e a ferramenta de corte, que

é aberta na zona central para que as lamas bentoníticas e os detritos possam entrar dentro das varas de perfuração.

Todas as captações utilizadas para este trabalho (exceto o F9) foram executadas com o mesmo sistema de perfuração, isto é, rotação com circulação direta, vulgarmente designado no seio das empresas de perfuração como “furo a lamas”. Este processo de perfuração é o mais utilizado pelas empresas que executam furos de captação de água subterrânea em meios sedimentares pouco consolidados.



Figura 4.7 – Fotografia aérea da execução do furo F20; (1) Tanques de decantação de areias, (2) máquina de perfuração, (3) veículo de apoio, (4) bomba de lamas, (5) compressor para limpeza e desenvolvimento da captação.

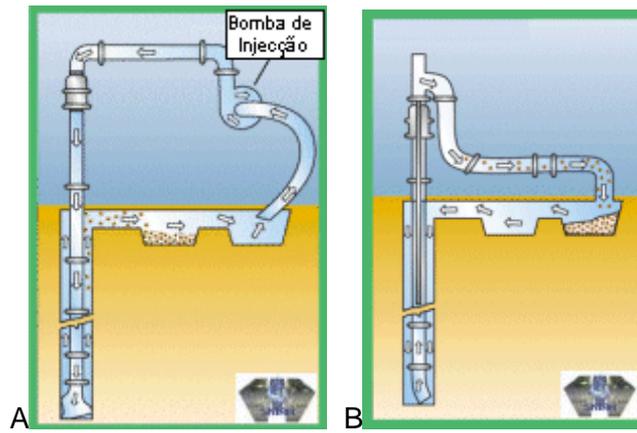


Figura 4.8 - Esquema interpretativo de: A - método rotação à circulação direta; B – método rotação à circulação inversa.

(Adaptado de: Águas Subterrâneas, SNIRH; 2006)



Figura 4.9- Exemplo de uma perfuração a rotação por circulação direta.



Figura 4.10 - Máquinas de perfuração utilizadas na abertura dos furos na zona em estudo.

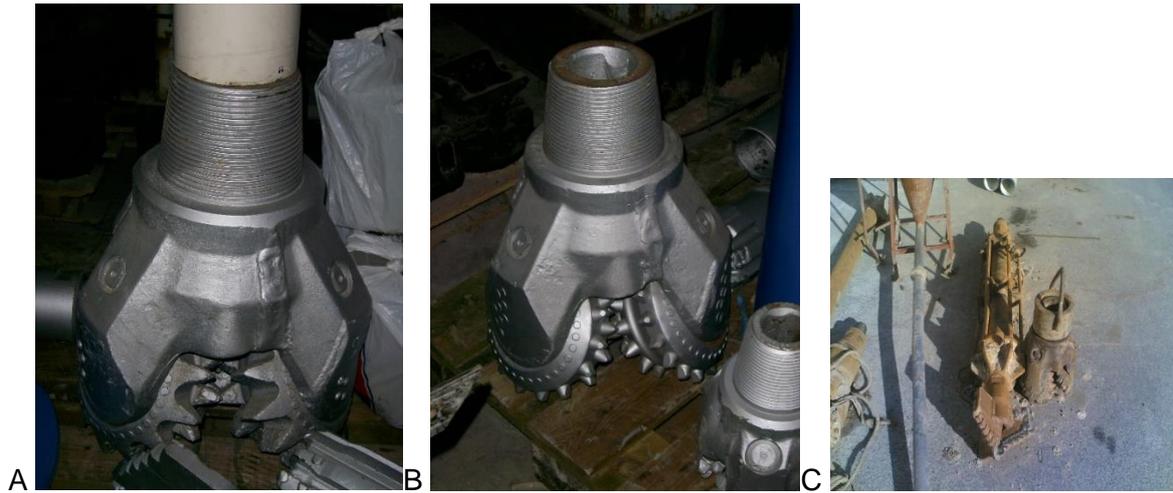


Figura 4.11 – A – Tricone de dentes de aço; B – Tricone de dentes de tungsténio; C – Trialeta com estabilizador.



Figura 4.12 – A – Varas de perfuração; B – Bomba de lamas de pistons; C – Bomba de lamas centrifuga.



Figura 4.13 – A – Misturador de Bentonite; B – Hidrociclone; C – Bentonite.

O terceiro método acima enunciado é designado por roto-percussão e é vulgarmente designado no seio das empresas de furos para captação de água subterrânea como “perfuração a martelo”. O Furo F9 foi executado por este método. Este processo é semelhante aos anteriores, contudo a principal diferença está no fluido de perfuração e na ferramenta de corte utilizada. Neste processo a ferramenta de corte é constituída por um martelo de fundo furo, mais um bit de perfuração (Fig. 4.14A), e um compressor de alta pressão (Fig. 4.14B), cuja sua função é gerar ar comprimido que permite efetuar duas operações: o funcionamento do martelo fundo-de-furo e gerar o fluido de remoção dos detritos. Assim não é necessário

utilizar lamas bentoníticas, nem os equipamentos/materiais das figuras 4.11, 4.12B, 4.12C, 4.13.



Figura 4.14 – A – Martelo fundo furo e bit de perfuração; B – Compressor alta pressão.

Independente do método de perfuração e após esta estar concluída, é necessário colocar a coluna de revestimento (entubamento do furo). É utilizado maioritariamente tubagem em PVC (fig. 4.15A). Posteriormente é aplicado o maciço filtrante (fig. 4.15B), e por último é efetuada uma limpeza e o desenvolvimento da captação (Fig. 4.16).



Figura 4.15 – A – Tubo PVC para entubamento do furo e centralizador; B – Seixo calibrado 3/5mm para maciço filtrante.



Figura 4.16 - Limpeza e desenvolvimento da captação (Captação em Benavente – Santarém).

## 4.2 Tratamento dos dados

Analisando a tabela do Anexo I (que foi colocada em anexo devido às suas dimensões), observa-se que a sondagem F21 foi a mais profunda atingindo os 126 m de profundidade (correspondente a uma cota de -121 metros). Apesar de esta sondagem não ter intercetado a formação hetangiana das “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959), foi utilizada devido à sua localização espacial e características hidrogeológicas. Por sua vez a sondagem F14 com 12 metros de profundidade é a menos profunda atingindo a cota de 8 metros e não intercetou nenhum nível aquífero. A média aritmética da profundidade das sondagens é de 65,39 metros, mas como se observa na mesma tabela a profundidade das captações é muito variável (dezena a centena de metros).

A análise aos logs litológicos das sondagens mostra que o Plio-pleistocénico é, nesta região, constituído maioritariamente por areia de grão médio esbranquiçada, ocorrendo pequenos níveis mais ou menos grosseiros. É possível constatar ainda que na parte superior deste complexo, aparecem depósitos de lignitos e carvão. Os afloramentos do Hetangiano são constituídos por argilas vermelhas. No entanto, nas sondagens realizadas, apresenta na maioria dos casos uma constituição em argilas cinzentas com presença de gesso.



Figura 4.17 - Pormenor da litologia constituinte do Plio-pleistocénico.

As cotas da “boca” das captações foram determinadas com base na Carta Militar de Portugal à escala 1:25000, enquanto que, o nível piezométrico foi determinado através da diferença entre aquele valor (cota da captação) e a profundidade do nível da água no furo.

No tratamento dos dados seleccionados foi utilizado *software* diverso.

Nos elementos (níveis) piezométricos e na realização de cartas de fluxo para compreensão da hidrodinâmica do aquífero foi utilizado o *software* Surfer da empresa Golden Software.

Para a elaboração dos modelos representativos da geometria do aquífero foi utilizado o *software* RockWorks 16 da empresa RocWare. Aplicou-se a seguinte ordem de processos:

- 1 – Seleção e inserção dos dados;
- 2 – Escolha do método de interpolação;
- 3 – Obtenção de resultados e sua análise.

Todos os dados para a realização dos primeiros 3 modelos foram retirados diretamente dos logs dos relatórios das sondagens seleccionadas. O método de interpolação utilizado foi o “inverso do quadrado da distância” por ser o que melhor se adaptava aos elementos disponíveis devido ao reduzido número de pontos existentes.

O modelo topográfico da superfície foi realizado com o apoio de dois *softwares*: O Arcgis da empresa ESRI e do já enunciado Rocworks. O primeiro programa informático foi

utilizado para a realização de uma *shapefile* com os pontos e linhas cotadas através da carta topográfica da zona em estudo. Após esta fase, importaram-se os resultados para o segundo *software*, onde se utilizou o método de interpolação designado *krigagem*, pois foi o que mais adequado (além de ser um método excelente para quando se tem muitos pontos, tende ao mesmo tempo a suavizar os picos que por vezes são criados quando da aplicação de outros métodos).

Foram utilizados outros programas informáticos para o tratamento de imagens como o Paint da Microsoft.

As fotografias aéreas da região estudada foram retiradas do Google Earth.

### 4.3 Resultados e interpretações

De acordo com os enquadramentos geológico (Carta Geológica 1:50.000) e hidrogeológico (Almeida, et al, 2000) e com os elementos de campo (nomeadamente a localização dos furos) optou-se por dividir o domínio estudado em dois setores: setor W e setor E, conforme a figura 4.18

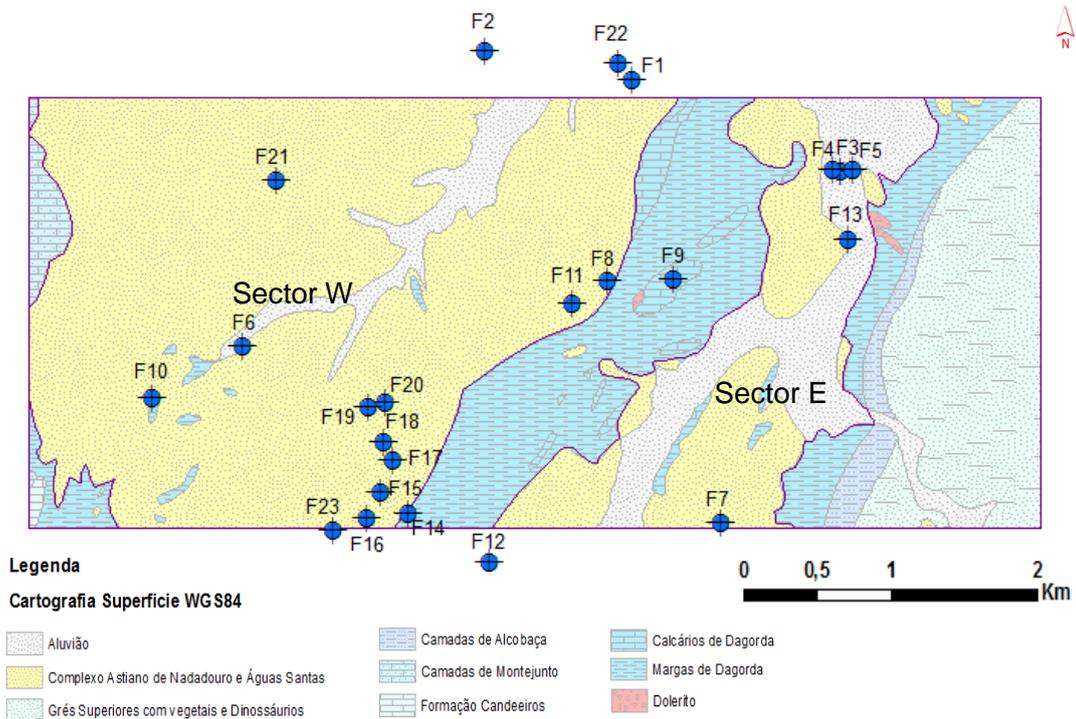


Figura 4.18 - Localização do setor W e do setor E no domínio em estudo.

A principal razão que levou à divisão da zona em estudo foi de natureza geológica, nomeadamente a presença e afloramento nos domínios centrais da Formação hetangiana “Margas

e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) dividindo o aquífero implantado na Formação plio-pleistocénicas em dois setores com hidrodinâmicas distintas.

O setor W apresenta um maior desenvolvimento geográfico, e é o setor que tem uma maior concentração de pontos (furos). É também neste setor que se regista maior profundidade e maior produtividade das captações. Este facto deve-se à maior espessura aquífera decorrente de uma tectónica e uma geodinâmica externa ante-pliocénica mais intensas, o que originou vales mais profundos e conseqüentemente maior espessura de materiais sedimentares depositados posteriormente.

Apesar de neste estudo não terem sido consideradas as captações públicas (relatórios não disponíveis), deve referir-se que se situam no setor W cerca de 6 captações, onde são explorados elevados caudais.

Como se observa no gráfico 4.1 a produtividade aquífera está diretamente ligada com a espessura do Plio-pleistocénico, sendo notório que os furos mais profundos, são os que apresentam maior produtividade (excetuando-se os furos F6, F7 e F11).

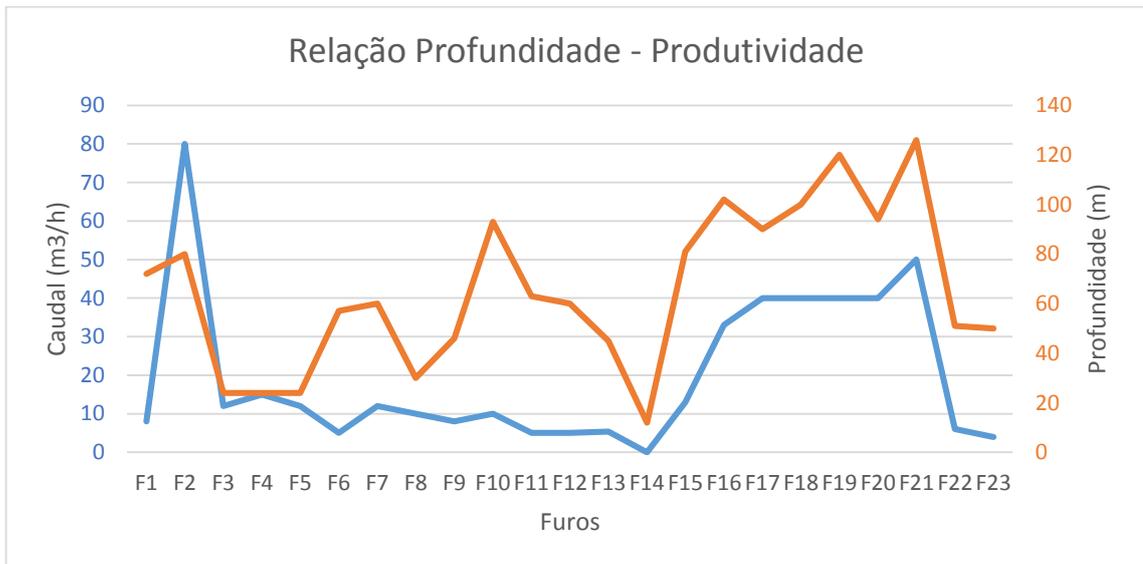


Gráfico 4.1 – Representação da espessura do Plio-pleistocénico e da produtividade aquífera.

### 4.3.1 Piezometria e cartas de fluxo

Com os níveis piezométricos calculados para cada captação criaram-se cartas piezométricas (de fluxo) para ambos os setores de modo a tentar identificar a hidrodinâmica intra-aquífera e as possíveis zonas de recarga e descarga.

Os resultados – cartas de fluxo – contêm necessariamente desvios da realidade decorrentes fundamentalmente de:

- utilização de níveis piezométricos medidos em diferentes anos/estação do ano;
- a não utilização de dados de todos os furos existentes no domínio em estudo;
- a ocorrência de distorções nos níveis medidos devido ao desenvolvimento de cones de rebaixamento de captações em exploração;

Na figura 4.19 está representada a carta de fluxo construída para o setor E da zona em estudo. Esta suscita as seguintes interpretações:

- o sentido geral de fluxo efetua-se em direção à Vala da Palhagueira e ao Rio da Tornada, o que nos indica que estes cursos de água são alimentados pelo aquífero. Junto à localidade de Tornada, existe um Paúl, onde os solos são lodosos e encontram-se alagados durante todo o ano.
- o gradiente hidráulico é suave a S e elevado no centro-N.

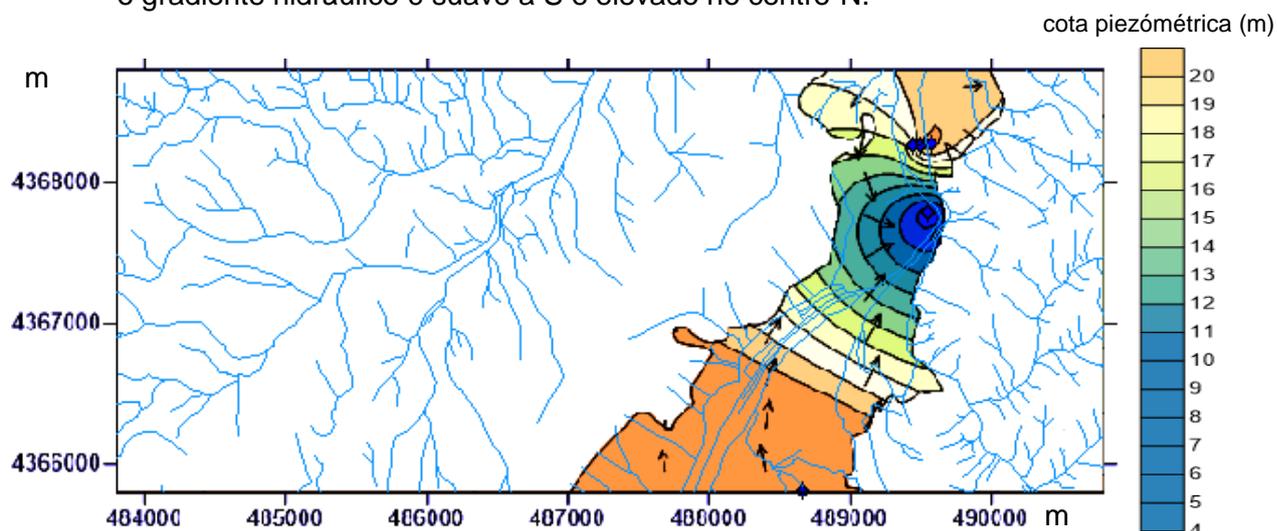


Figura 4.19 - Mapa piezométrico e de fluxo para o setor E da zona em estudo.

A carta piezométrica do setor W, o mais desenvolvido e onde se encontram as captações mais produtivas, está representada na figura 4.20. Analisando este mapa é possível expressar:

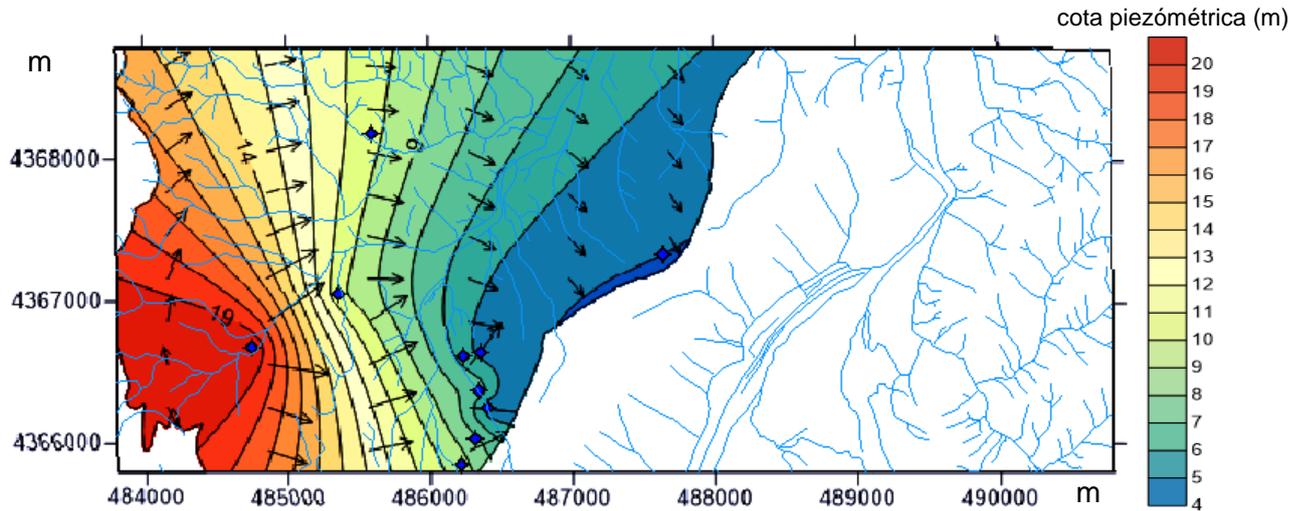


Figura 4.20 - Mapa piezométrico e de fluxo para o setor W da zona em estudo.

- um sentido geral de escoamento segundo uma tendência de W para E; este sentido decorrerá do facto de o aquífero ser alimentado a partir das formações do Jurássico superior situadas a W. O escoamento para E pode também ser ampliado por erros de medição das cotas das captações, o que irá influenciar a cota do nível piezométrico e, conseqüentemente, a carta de fluxo.

- relativamente à variação do gradiente hidráulico, verifica-se que este é mais elevado a W e mais suave a E.

#### 4.3.2 Modelação da Geometria Aquífera

Os dados contidos nos relatórios das captações utilizadas no presente estudo, nomeadamente os parâmetros utilizados, foram inseridos no *software* RockWorks 16. Após a sua validação, foi efetuada a modelação geométrica do aquífero. Para efetuar esta modelação foram utilizados dois métodos de interpolação: (1) *krigagem* e (2) “inverso do quadrado da distância”. A *krigagem* é um método excelente quando existe um número elevado de pontos, permitindo imagens mais realistas com contornos mais suaves. O método do “inverso do quadrado da distância” é muito bom sempre que o número de pontos inseridos é relativamente baixo. Era o mais fiável e mais utilizado antes de se conhecer a *krigagem*.

Os modelos geométricos apresentados por ambos os métodos é muito idêntica como se observa nas figuras 4.21 e 4.22

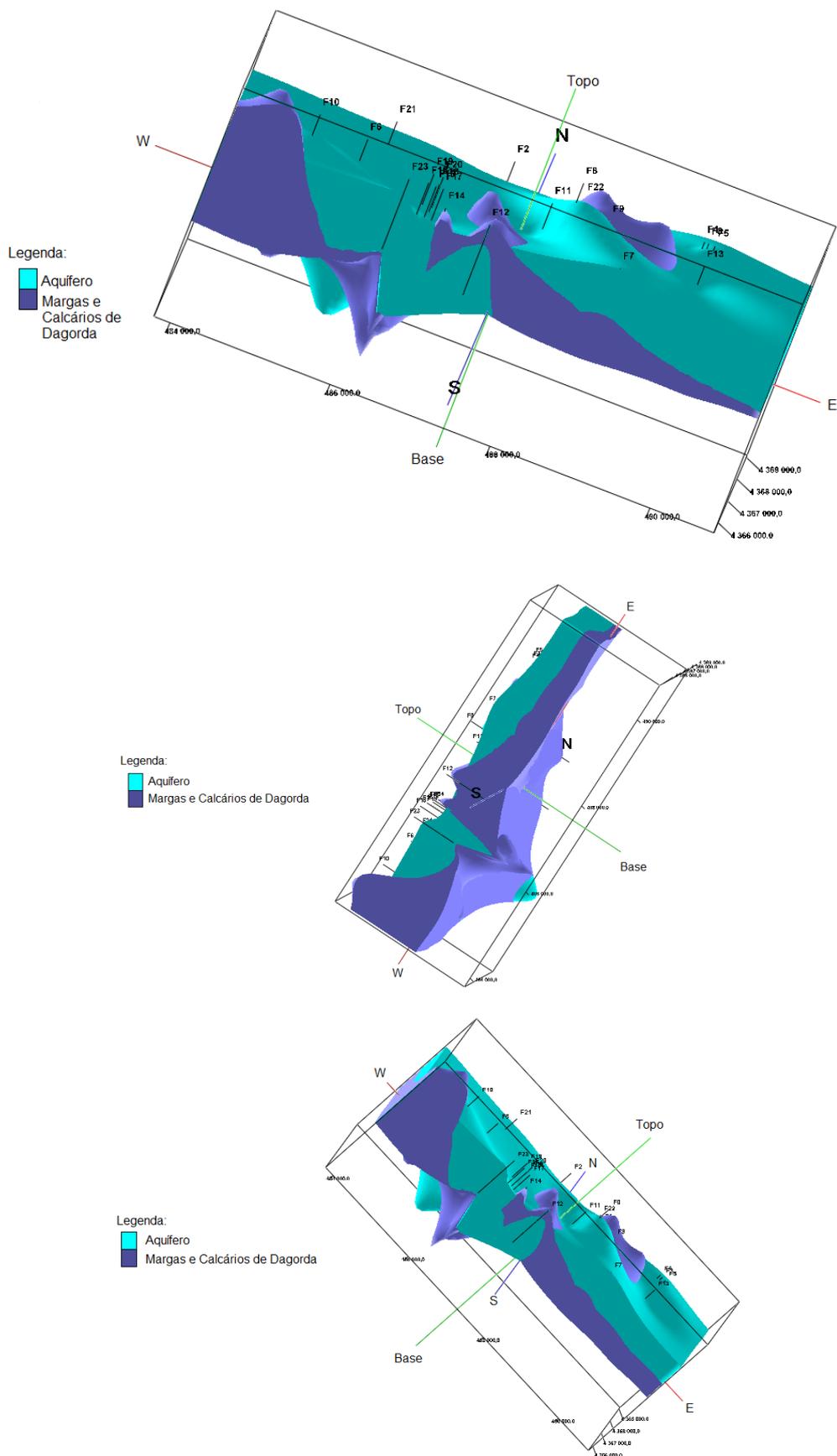


Figura 4.21 - Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação *krigagem*, interpretados.

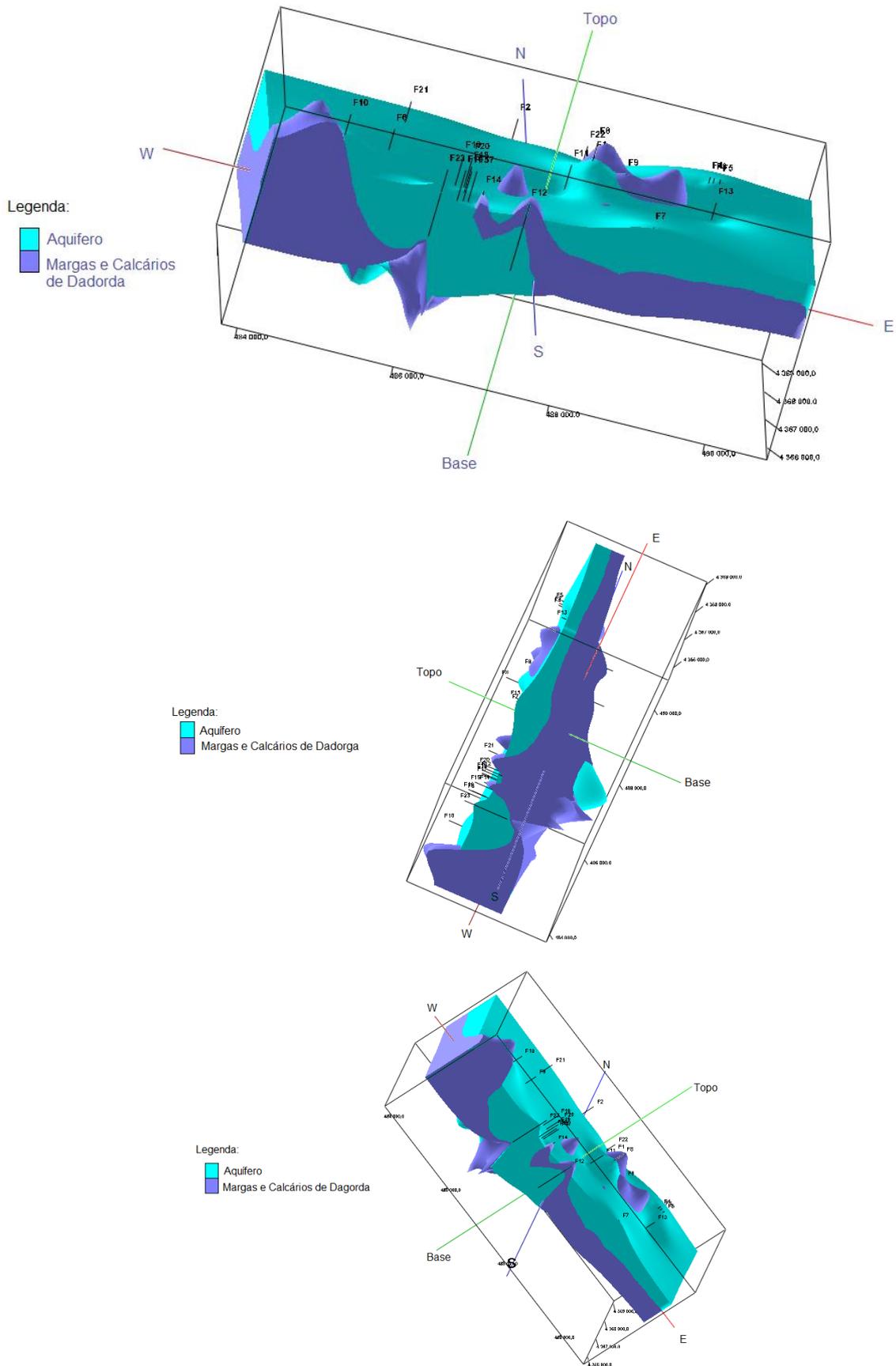


Figura 4.22 - Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação “inverso do quadrado da distância” interpretados.

Os modelos acima representados, apresentam um exagero na escala vertical de 20 vezes em relação á escala horizontal.

Como se observa a geometria apresentada pelos dois métodos de interpolação é muito semelhante. A principal diferença está no desenho da base e do topo do aquífero: o modelo construído pelo método de *krigagem* apresenta elevações e depressões mais suavizadas do que o resultante da aplicação do método de interpolação “inverso do quadrado da distância”.

No geral os modelos expressam:

- uma irregularidade muito acentuada no teto do aquífero (superfície piezométrica); estas elevações e depressões podem ser explicadas por: (1) ocorrência de furos utilizados para este estudo em exploração aquando a medida dos níveis piezométricos; (2) terem sido utilizados para este estudo captações executadas em diferentes períodos, ou seja, a captação mais antiga é do ano 1996 e a mais recente do ano de 2014, e como a exploração do aquífero aumentou ao longo dos anos, é exetável que as captações mais antigas apresentem níveis piezométricos mais elevados do que se encontram atualmente; (3) o facto de algumas captações terem sido efetuadas no período de verão – níveis mais baixos – e outras no inverno – níveis mais altos. A conjugação deste fatores potenciará de forma direta a irregularidade do teto do aquífero.

- relativamente à base do aquífero, os dois métodos de interpolação utilizados apresentam uma estrutura quase idêntica.

- a base do aquífero apresenta dois picos mais profundos no setor W; estes estão dispostos segundo um alinhamento com direção aproximada NW-SE. Adiantam-se três possíveis explicações para esta geometria: (1) ocorrência de uma falha com aquela direção; (2) existência de uma antiga depressão topográfica naqueles locais e (3) conjugação dos dois fatores anteriores. Das três hipóteses apresentadas, considera-se a última, uma vez que a existência de uma falha iria fragmentar o maciço, fazendo com que a geodinâmica externa erodisse mais facilmente aqueles locais, originando importantes depressões topográficas. A execução de outras captações em locais próximos da zona de estudo, nomeadamente a S, com profundidades superiores a 100 m, e cuja produtividade é elevada ( $\geq 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ), alinham-se segundo a direção apresentada no modelo reforçando a tese da existência de uma falha.

Relativamente á geometria lateral do aquífero importa referir que:

- O bordo W é definido pela falha que limita o vale tifónico a W conjugado com o contacto entre o Plio-pleistocénico e as Formações vizinhas jurássicas.

- O bordo E corresponde à falha que delimita o vale tifónico a E conjugado com o contacto do Plio-pleistocénico com a Formação “Margas de Dagorda” (Zbyszewski, 1959).

- Os limites centrais são definidos pelo contato do Plio-pistocénico com a Formação “Margas de Dagorda” (Zbyszewski, 1959), não só pelo afloramento que separa o setor W do setor E, como nos pequenos afloramentos que ocorrem em ambos os setores.

Apesar de nos blocos-diagrama o aquífero aparecer em toda a área, na realidade, este apenas ocorre dentro dos limites enunciados atrás. Este erro nos blocos diagrama, existe por própria imposição do *software* utilizado, que ao efetuar o modelo, assume a presença do mesmo aquífero em toda a área definida nos limites introduzidos. Foram efetuadas várias tentativas de ultrapassar esta lacuna, mas todas se revelaram infrutíferas.

Para melhor perceber a geometria do aquífero, além dos blocos diagramas apresentados acima, foram elaborados três cortes interpretativos. A localização dos cortes está representada na figura 4.23 e os cortes estão representados na figura 4.24.

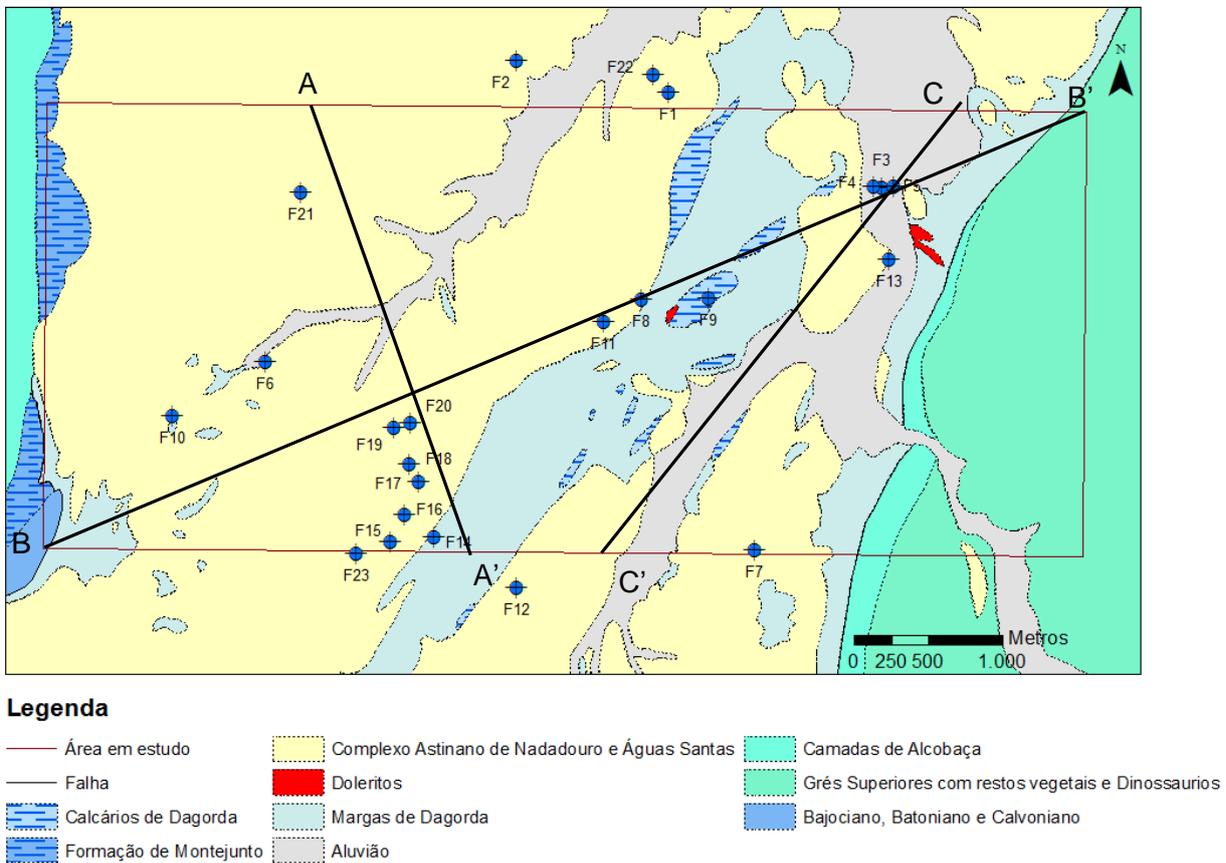


Figura 4.23 - Localização dos cortes interpretativos da geometria do aquífero em estudo (A-A' ; B-B' e C-C').

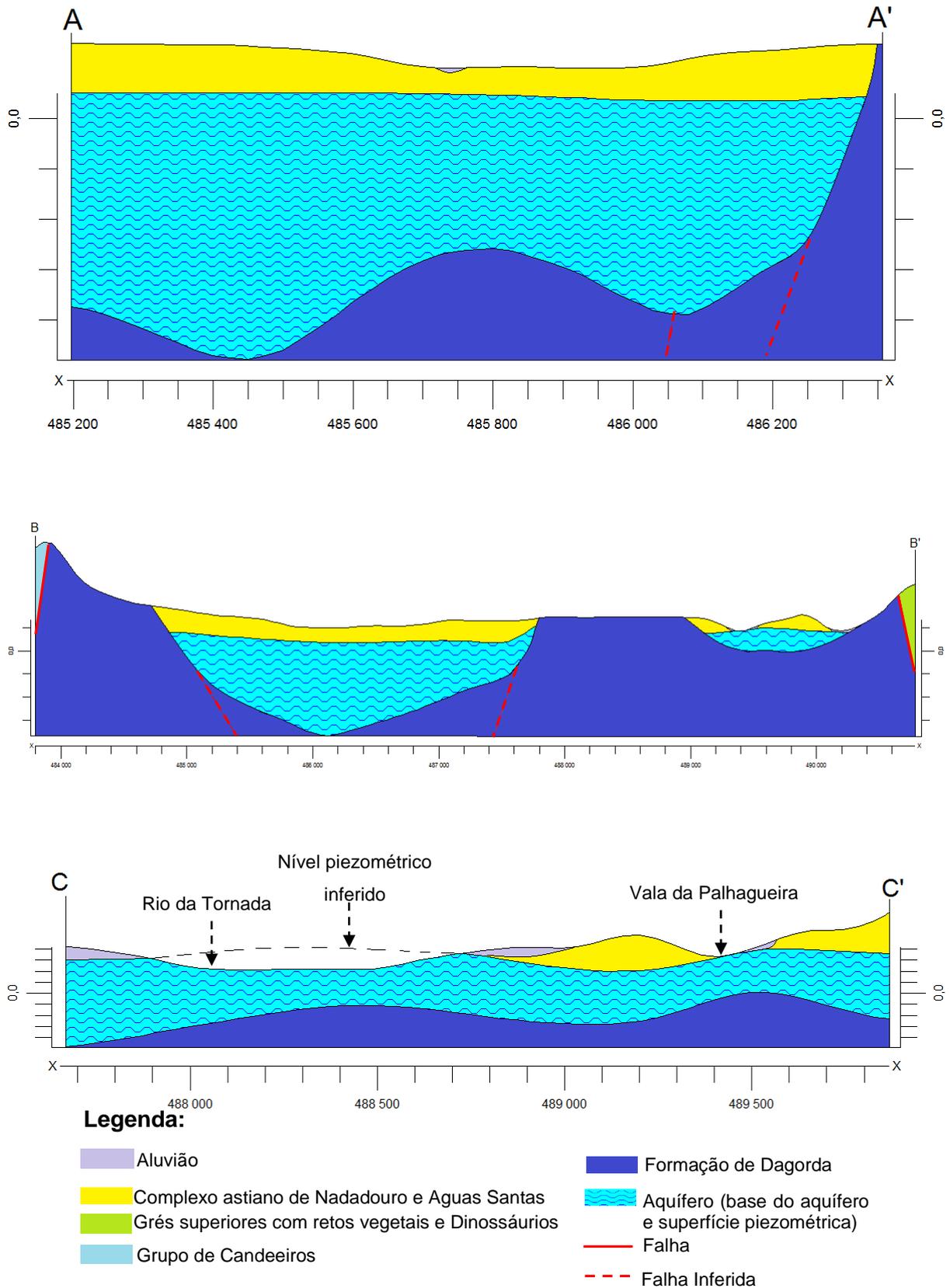


Figura 4.24 - Cortes interpretativos da geometria inferida para o aquífero em estudo.

Analisando os cortes acima, percebemos que a base do Sistema aquífero é irregular na zona estudada. Esta irregularidade, como já foi referido acima, estará influenciada pela tectónica salina conjugada com a geodinâmica externa ante-pliocénica.

O corte A-A' com uma direcção NW-SE permite mostrar o setor mais desenvolvido do local estudado. É provável que ocorram 3 falhas em profundidade (Fig. 4.24). Duas ocorrem nos locais de maior espessura do Plio-pleistocénico: uma representada com linha vermelha a tracejado e outra na vertical da coordenada X= 485450. A terceira falha localiza-se no contato do aquífero com o afloramento central da Formação de Dagorga (Zbyszewski, 1959). As falhas atrás enunciadas são apenas inferidas. Seria necessário a realização de ensaios de geofísica para confirmar a sua existência.

O corte B-B' segue uma direcção SW-NE. Este corte foi realizado para comparar os dois sectores da região em estudo. Ilustra as duas falhas que delimitam os bordos E e W do vale tifónico, representadas na Figura 4.24 por uma linha vermelha. A interpretação do corte permitiu inferir a presença de três falhas que correspondem à continuação das falhas inferidas no corte A-A'. É perceptível através deste corte que o gradiente hidráulico do setor W é menor do que no setor E, provavelmente por duas razões: (1) o setor W ser de maior expressão geográfica que o setor E, (2) a zona de descarga do setor W estar mais distante que no setor E.

O corte C-C' foi realizado segundo a direcção NE-SW, seguindo o alinhamento estrutural do vale. Este setor apresenta uma base relativamente regular. Da interpretação deste corte, percebe-se que, ao contrário do setor W, a base deste setor é mais suave, talvez por ser uma zona onde não está evidenciada nenhuma falha. A explicação mais plausível para esta forma está relacionada com os agentes de geodinâmica externa que atuaram neste setor antes da deposição plio-pleistocénica. A não existência de falhas faz com que o soco jurássico não esteja tão fragmentado e com uma superfície de erosão pouco irregular. É possível ainda observar através deste corte que as zonas de descarga aquífera neste setor direcionam-se para as linhas de água mais importantes, tal como, as cartas de fluxo o demonstram.

## 5 Conclusões e Recomendações

Com esta dissertação pretendeu-se conhecer um pouco mais sobre a geometria, hidrodinâmica interna do aquífero O33 – Caldas da Rainha Nazaré e da sua envolvente. Para que tal fosse possível, a análise dos logs dos furos de captação de água implantados no setor em estudo associado aos dados de campo e informação obtida de outras captações implantadas no aquífero, foi imprescindível e fundamental.

### 5.1 Conclusões

O culminar da informação fornecida pelos logs e relatórios dos furos-sondagens das captações implantadas na zona em estudo foi crucial para a criação de um modelo geométrico do aquífero e para aumentar os conhecimentos da geologia profunda no setor em estudo.

O aquífero na região em estudo está dividido em dois setores: (1) Setor W e (2) Setor E, separados pelo afloramento da Formação que define a base do aquífero estudado. Estes dois setores voltam a unir-se a N e a S da região estudada.

Relativamente á geometria do aquífero conclui-se o seguinte:

- O setor E, apresenta-se com uma geometria relativamente regular, em que a base, segundo a direção E-W é aproximadamente plana no centro e mais acentuada nas laterais; segundo a direção N-S, a base apresenta-se aplanada com pequenas variações de profundidade (no máximo 10m).

- O setor W, apresenta-se com uma geometria irregular, em que a base segundo a direção E-W apresenta-se com variações elevadas da sua profundidade. Depois de analisados todos os dados recolhidos e a realização das interpolações para criação do modelo geométrico, conclui-se que a existência de duas possíveis falhas, condicionam a estrutura geométrica do aquífero. Para se confirmar a presença das falhas em profundidade seria necessário estudos complementares (por exemplo, geofísica).

- Os limites do aquífero estão definidos pelo contacto com a Formação “Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959) e pelas falhas que delimitam o vale tifónico. Nos blocos diagrama apresentados, observa-se que toda a área é abrangida pelo aquífero, tal não é verdade. Este erro do modelo geométrico, deveu-se a condicionantes do programa utilizado para obtenção do mesmo.

Relativamente á hidrodinâmica intra-aquífera da região em estudo conclui-se que:

- a produtividade aquífera está relacionada diretamente com a espessura do Plio-pleistocénico. A existência destas possíveis falhas que condicionam a espessura do Plio-pleistocénico encontram-se relacionadas com tectónica diapírica associada a fatores de geodinâmica externa ante-pliocénica;

- as variações litológicas dentro da Formação Plio-pleistocénica (nomeadamente a presença de lenhites) apresenta uma tendência de produtividades mais elevadas quando estas se encontram presentes;

- Os caudais mais elevados encontram-se no setor W, devido ás condicionantes acima enunciadas;

- O setor W apresenta um fluxo tendencial para E, em que o gradiente hidráulico é elevado a W e baixo a E;

- O setor E apresenta um fluxo tendencial para N, em que o gradiente hidráulico é elevado no centro-N deste setor, e reduzido nas restantes orientações;

- Foram definidas através deste estudo duas zonas de recarga do aquífero na região estudada: (1) a W do setor W, em que o aquífero é alimentado pelas formações do Jurássico superior, (2) a S do sector E, não sendo possível determinar com os dados disponíveis no setor W o local exato onde se efetua a recarga.

- Relativamente às zonas de descarga do aquífero na região estudada, foi identificada: (1) a Vala da Palhagueira e o Rio da Tornada para o setor E, (2) para o setor W, as cartas de fluxo infere a zona de descarga junto ao afloramento central da Formação “Margas e Calcários de Dagorga” (Zbyszewski, 1959) que separa os dois setores. Pela experiência adquirida nos trabalhos executados na região (não contemplados neste estudo) a descarga deste setor situa-se a N junto ao Rio da Tornada.

Um dos objetivos principais da presente dissertação foi identificar quais os locais da região estudada em que a espessura do Plio-pleistocénico fosse mais elevada. Como a produtividade deste aquífero está diretamente relacionada com a espessura do Plio-pleistocénico, define-se os locais mais produtivos, onde a espessura do Plio-pleistocénico é mais elevada. Foi identificado a zona central do setor W, como a zona mais produtiva do aquífero na região em estudo, segundo o alinhamento NW-SE, onde se encontram as possíveis falhas inferidas.

Como em todos os estudos os resultados dependem da qualidade dos dados recolhidos. Deste modo, é importante referir que: (1) a variação cronológica dos dados recolhidos, influência de forma direta os resultados obtidos na análise das cartas de fluxo:

- os níveis piezométricos variam ao longo do ano hidrológico,

- os furos de captação selecionados para este estudo foram executados em anos distintos (tem-se observado uma tendência geral de rebaixamento do nível piezométrico nos últimos anos);

(2) pela exploração de outras captações não contempladas nos dados recolhidos em que os níveis piezométricos poderão estar influenciados pelos cones de rebaixamento dessas captações.

(3) as cotas de da boca das captações foram obtidas por aproximação através da carta militar 1:25.000 o que influencia diretamente o nível piezométrico, pois este é calculado através da diferença entre a cota da superfície e o nível hidrostático. Estes erros são mais evidentes no setor W onde a zona de descarga inferida pela carta de fluxo, não se adapta aos resultados obtidos noutros estudos, e ao conhecimento da região estudada pela experiência adquirida em trabalhos na zona envolvente.

## 5.2 Recomendações

Com o aumento nos últimos anos da atividade agrícola, associada aos períodos de seca que têm existido nos últimos anos (devido á ocorrência de menores períodos de precipitação), faz com que o estado do aquífero se possa degradar num futuro próximo.

Na zona mais a S do Sistema Aquífero estudado, observam-se que algumas captações estão a salinizar. A salinização dessas captações deve-se a má construção de alguns furos executados naquela região.

Com a elaboração deste estudo e da análise das conclusões obtidas, recomenda-se o seguinte:

- As zonas de recarga devem ser protegidas, de forma a não haver contaminação do aquífero;

- Com o aumento da atividade agrícola na região, prevê-se um aumento na utilização de fertilizantes e pesticidas na água utilizada para a rega. Como o aquífero é parcialmente alimentado por infiltração profunda da precipitação, a utilização de fertilizantes e pesticidas na

rega, faz com que haja uma maior concentração destes no solo. A lixiviação dos solos induzida pela infiltração da água no solo, implica a contaminação do aquífero pelos elementos presentes no solo. Recomenda-se que haja um controlo na utilização de herbicidas, pesticidas, etc. na atividade agrícola.

- Na região estudada ainda não se conhecem captações salinizadas, no entanto, para prevenir que futuramente venha a ocorrer, recomenda-se um maior rigor na construção dos furos para captação de água. A perfuração deverá cessar assim que se detete o topo da “Formação Margas e Calcários de Dagorda” (Zbyszewski, 1959), pois, é nesta formação que se encontra o aquífero salino que está a contaminar a região mais a S do Sistema Aquífero estudado.

- Segundo o Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas Portuguesas, o Sistema Aquífero estudado, relativamente ao seu estado está classificado de “Medíocre”. Esta classificação engloba a análise de vários parâmetros: balanço hidrogeológico, hidroquímico, etc. Atendendo esta classificação, recomenda-se um controlo mais rigoroso deste aquífero.

Seria importante do ponto de vista científico e prático, um melhor conhecimento da geometria deste Sistema Aquífero. Para tal, a empresa que disponibilizou os dados fornecidos para este estudo, encontra-se disponível para fornecer os seus dados para trabalhos futuros.

## 6 Bibliografia

ALMEIDA, C., MENDONÇA, J., JESUS, M., GOMES, A. (2000) *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental – O33 Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré*, Instituto da Água, pp. 421 – 431, acessado dia 01 de Julho 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.

AZEVEDO, J.M., *Cadernos teórico-práticos de apoio à disciplina de Hidrogeologia Aplicada 2011-2012*, Departamento Ciências da Terra [DCT] da Universidade de Coimbra.

BORGUETTI, N. R. B., BORGUETTI, J. R., FILHO, E. F. R., *O Aquífero Guarani*, Panamá, consultado no dia 01 de Julho em <http://www.abas.org/educacao.php>

CARABLO, M. P. C., XAVIER J. M., *Manual de água subterrânea*, Ministério de Pecuária, Agricultura e Pescas, Uruguai, 2012, acessado dia 08 de Julho em <http://www.cebra.com.uy/presponsible/adjuntos/2012/11/Manual-de-agua-subterranea-bajo.pdf>

CHIANG, W, KINZELBACH, W., RAUSCH, R. (1998) *Aquifer Simulation Model for Windows*. Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Estugarda, Alemanha.

DESCONHECIDO, consultado dia 02 de Setembro em <http://www.irmaos.net/recursos/leiria.html>

LIMA, M., *Divisões Administrativas de Portugal – Um olhar pela diversidade e divisão territorial Portuguesa*, [Lisboa?], consultado no dia 02 de Setembro em <http://www.mslima.com/sop/divisoies/>

MANUPPELLA, G. (coord.) (1996) – *Notícia explicativa da Folha 30A – Lourinhã - Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000*. 2ª Edição. Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.

MIDÕES, C., FERNANDES, J., *Água Subterrânea – Conhecer para Conservar e Preservar*, INAG, pp. 1-24, acessado dia 03 de Julho em [http://www.cienciaviva.pt/img/upload/agua\\_subterranea\\_LNEG.pdf](http://www.cienciaviva.pt/img/upload/agua_subterranea_LNEG.pdf)

MIRA, J., *Síntese Hidrogeológica do Concelho de Caldas da Rainha*. Universidade de Évora, Évora, Portugal.

PAZ, M. (2009) *Modelação Matemática do Escoamento e da Poluição do Sistema Aquífero Caldas da Rainha – Nazaré (Sector corresponde ao Vale Tifónico de Caldas da Rainha)*, Instituto Superior Técnico, Lisboa. Tese de Mestrado, acessado dia 11 de Julho em <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt>

*Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo (2009)*, Portugal, Acessado dia 12 de Julho em <http://www.ccdr-lvt.pt/pt/plano-regional-de-ordenamento-do-territorio-do-oeste-e-vale-do-tejo-/613.htm>

PORTUGAL, SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE, (1992), *Carta Geológica de Portugal: escala 1:500.000 – Folha Sul*, Direção Geral de Geologia e Minas, Lisboa

REIS, P., LOPES, F., DINIS, J., *Lições de Geologia de Portugal, Caderno de Apoio á disciplina de Geologia de Portugal, 2011-2012*, Departamento Ciências da Terra, [DCT] da Universidade de Coimbra

RODRIGUES, A., et all, *Plano Gestão Região Hidrográfica*, Agência Portuguesa do Ambiente, consultado dia 25 de Agosto em: <http://www.apambiente.pt/>

SISTEMA NACIONAL INFORMAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Galeria de Imagens, acessado em 09 de Setembro em <http://snirh.pt/index.php?idMain=4&idItem=2>

SNIRH, *Água Subterrânea*, (2006), Instituto da Água, Lisboa, consultado dia 02 de Setembro em [http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/folheto\\_agsub\\_jan2006.pdf](http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/folheto_agsub_jan2006.pdf)

SOBRAL, J. J. X., *As Divisões Administrativas de Portugal, ao Longo dos Tempos*, AUDACES, 2008, consultado dia 02 de Setembro em [https://pt.wikipedia.org/wiki/Prov%C3%ADncias\\_em\\_Portugal](https://pt.wikipedia.org/wiki/Prov%C3%ADncias_em_Portugal)

*The Water Cycle*, (2015), U.S. Department of the Interior, USGS, consultado dia 01 de Setembro em <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

ZBYSZEWSKI, G.; MOUTINHO, G. D' ALMEIDA, (1959) *Folha 26 D da Carta Geológica de Portugal á escala 1:50000*, Serviços Geológicos de Portugal; Lisboa

ZBYSZEWSKI, G.; MOUTINHO, G. D' ALMEIDA, (1960) *Notícia Explicativa da Folha 26D da Carta Geológica de Portugal á escala 1:5000*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa

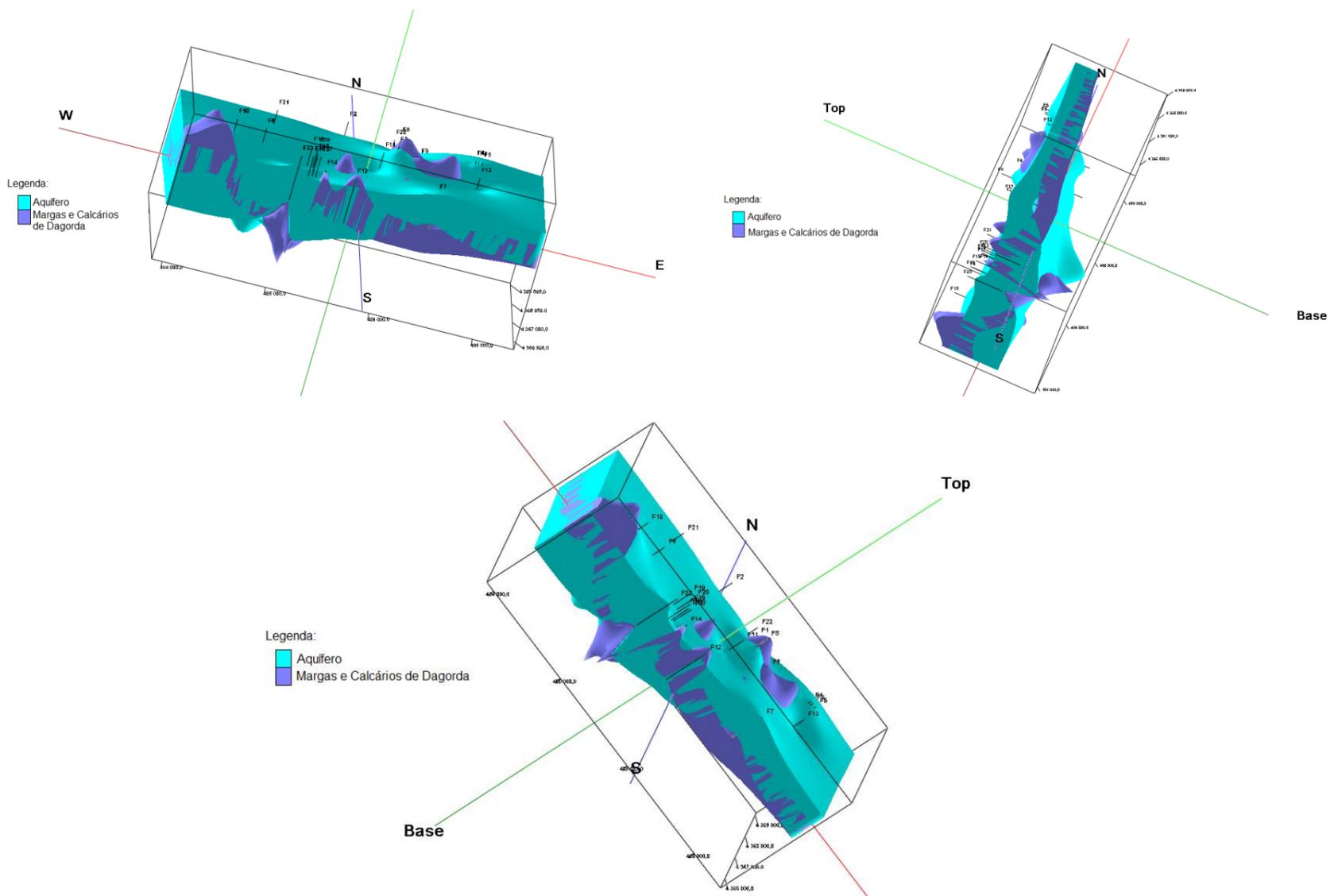
## **ANEXOS**

## ANEXO I

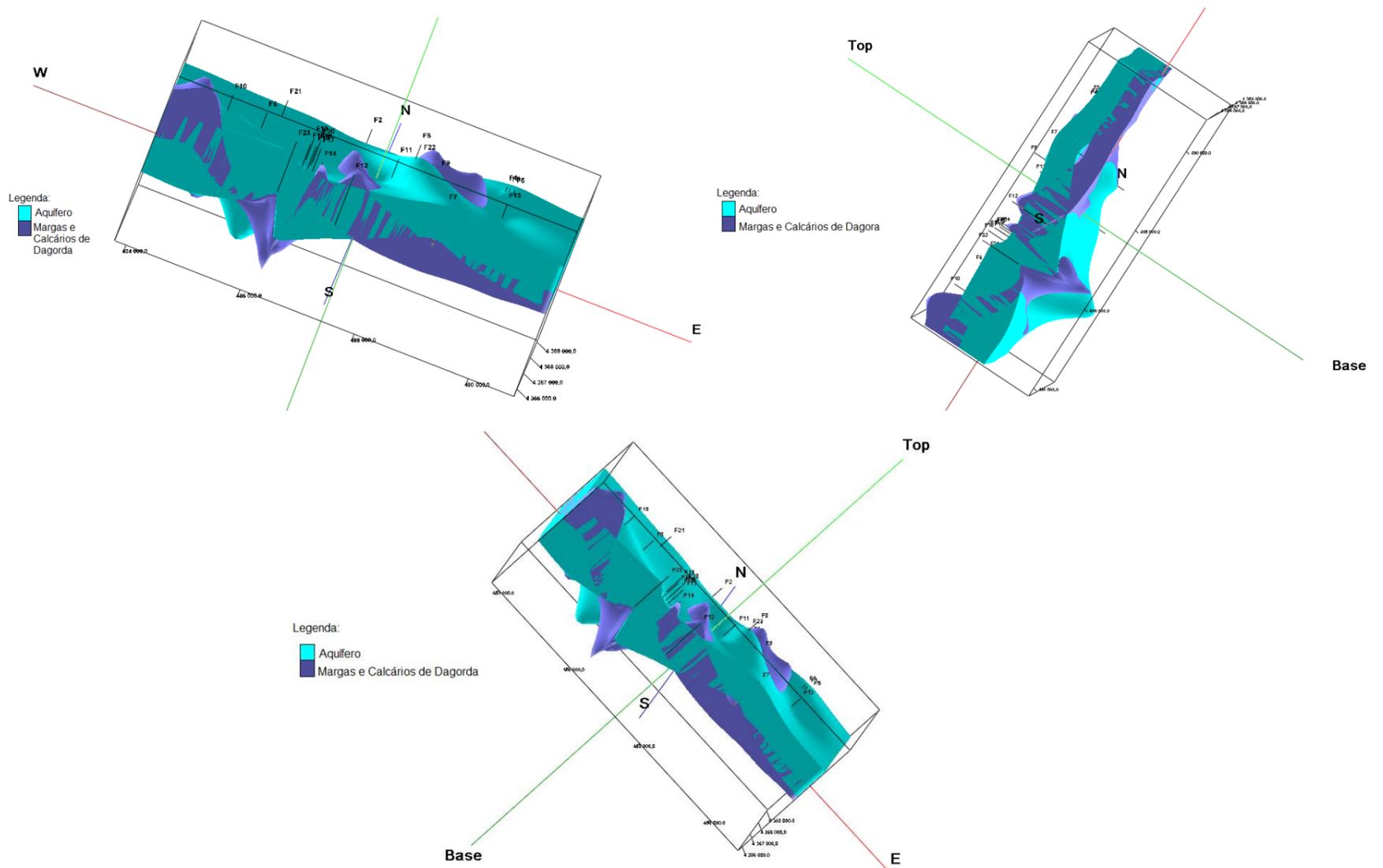
| Furo | WGS84 UTM 29T |            |          | Prof. (m) | Litologia      |                |   | Estratigrafia |              |  | Hidrogeologia |              |          |               |                            | Construção |              |              |
|------|---------------|------------|----------|-----------|----------------|----------------|---|---------------|--------------|--|---------------|--------------|----------|---------------|----------------------------|------------|--------------|--------------|
|      | Este (m)      | Norte (m)  | Cota (m) |           | Prof. Topo (m) | Prof. Base (m) | Litologia                                 | Prof. T. (m)  | Prof. B. (m) | Estratigrafia                                | Prof. T. (m)  | Prof. B. (m) | Aquífero | Esp. Sat. (m) | Caudal (m <sup>3</sup> /h) | Ralos (m)  | Ø perf. (mm) | Ø C. R. (mm) |
| F1   | 488057,08     | 4368894,05 | 7        | 72        | 0              | 35             | Areia de grão fino esbranquiçada          | 0             | 68           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 6,7           | 68           | 1        | 61,3          | 8                          | 24 a 30    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 35             | 44             | Carvão e lenhite                          |               |              |  |               |              |          |               |                            | 54 a 60    |              |              |
|      |               |            |          |           | 44             | 68             | Areia de grão médio esbranquiçada         |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 68             | 72             | Argila cinzenta com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F2   | 487036,00     | 4369100,00 | 15       | 80        | 0              | 3              | Areia siltosa acastanhada                 | 0             | 78           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 11,8          | 78           | 1        | 66,2          | 80                         | 38 a 57    | 400          | 200          |
|      |               |            |          |           | 3              | 30             | Areia de grão fino esbranquiçada          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 30             | 42             | Areia grosseira esbranquiçada             |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 42             | 69             | Areia de grão fino esbranquiçada          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 69             | 78             | Areia de grão fino amarela                |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 78             | 80             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F3   | 489497,24     | 4368262,15 | 23       | 24        | 0              | 6              | Areia de grão fino alaranjada             | 0             | 22           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 2,8           | 22           | 1        | 19,2          | 12                         | 14 a 17    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 6              | 12             | Areia de grão médio a fino com bivalves   |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 12             | 14             | Argila cinzenta                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 14             | 22             | Areia de grão médio a fino acastanhada    |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 22             | 24             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F4   | 489444,92     | 4368268,08 | 23       | 24        | 0              | 9              | Areia de grão fino alaranjada             | 0             | 22           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 5,7           | 22           | 1        | 16,3          | 15                         | 12 a 15    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 9              | 15             | Areia de grão médio a fino com bivalves   |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 15             | 16             | Argila cinzenta                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 16             | 22             | Areia de grão médio a fino acastanhada    |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 22             | 24             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F5   | 489576,35     | 4368269,75 | 23       | 24        | 0              | 5              | Areia de grão fino alaranjada             | 0             | 22           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 2,6           | 22           | 1        | 19,4          | 12                         | 13 a 16    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 5              | 11             | Areia de grão médio a fino com bivalves   |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 11             | 13             | Argila cinzenta                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 13             | 22             | Areia de grão médio a fino acastanhada    |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 22             | 24             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F6   | 485362,00     | 4367048,00 | 25       | 57        | 0              | 21,3           | Argila amarela com areia                  | 0             | 55,7         | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 14,7          | 55,7         | 1        | 41            | 5                          | 32 a 38    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 21,3           | 29,5           | Areia de grão fino esbranquiçada          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 29,5           | 31,9           | Carvão e lenhite                          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 31,9           | 55,7           | Areia de grão médio esbranquiçada         |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 55,7           | 57             | Argila cinzenta com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F7   | 488664,00     | 4365810,00 | 25       | 60        | 0              | 2              | Areia siltosa acastanhada                 | 0             | 36           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 0,4           | 30           | 1        | 29,6          | 12                         | 30 a 36    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 2              | 18             | Argila castanha                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 18             | 36             | Areia de grão fino acinzentada            |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 36             | 60             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F8   | 487890,00     | 4367495,00 | 41       | 30        | 0              | 3              | Areia de grão médio a fino acastanhada    | 0             | 10,5         | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | -             | -            | -        | -             | -                          | -          | 223          | 140          |
|      |               |            |          |           | 3              | 10,5           | Areia siltosa acastanhada                 |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 10,5           | 18             | Argila cinzenta                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 18             | 24,5           | Grés calcário acastanhado                 |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 24,5           | 30             | Calcário branco                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F9   | 488341,00     | 4367508,00 | 25       | 46        | 0              | 0,6            | Calcário branco                           | 0             | 46           | Calcários de Dagorda                         | 21            | 46           | 2        | 25            | 8                          | 40 a 46    | 223          | 140          |
|      |               |            |          |           | 0,6            | 16             | Argila amarela com areia                  |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 16             | 46             | Calcário branco                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F10  | 484744,00     | 4366678,00 | 34       | 93        | 0              | 3              | Areia siltosa acastanhada                 | 0             | 90           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 14            | 90           | 1        | 76            | 10                         | 48 a 90    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 3              | 8              | Argila castanha                           |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 8              | 90             | Areia de grão médio a fino acastanhada    |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 90             | 93             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F11  | 487637,00     | 4367342,60 | 25       | 63        | 0              | 51             | Areia de grão fino esbranquiçada          | 0             | 51           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 20            | 51           | 1        | 31            | 5                          | 33 a 39    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 51             | 63             | Argila cinzenta com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F12  | 487066,00     | 4365540,00 | 25       | 60        | 0              | 13             | Areia de grão médio esbranquiçada         | 0             | 58           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 9             | 58           | 1        | 49            | 5                          | 20 a 48    | 323          | 160          |
|      |               |            |          |           | 13             | 15             | Carvão e lenhite                          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 15             | 58             | Areia de grão fino esbranquiçada          |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
|      |               |            |          |           | 58             | 60             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F13  | 489551,00     | 4367784,00 | 16       | 45        | 0              | 40             | Areia de grão fino esbranquiçada          | 0             | 40           | Complexo Astiano de Nadadouro e Águas Santas | 12            | 40           | 1        | 28            | 5,4                        | 23 a 29    | 323          | 140          |
|      |               |            |          |           | 40             | 45             | Argila vermelha com minerais evaporíticos |               |              |  |               |              |          |               |                            |            |              |              |
| F14  | 486511,66     | 4365877,00 | 20       | 12        | 0              | 10             | Areia de grão médio esbranquiçada         | 0             | 10           | Complexo Astiano de                          | -             | -            | -        | -             | -                          | -          | 323          | -            |



ANEXO II



Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação "inverso do quadrado da distância por interpretar.



Geometria do aquífero em estudo aplicando o método de interpolação "krigagem" por interpretar.