

MODELO HIDROGEOLÓGICO TRIDIMENSIONAL DO AQUÍFERO DE OURÉM



João Nuno da Palma Nascimento

Licenciado em Engenharia dos Recursos Hídricos

Mestre em Georrecursos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia dos Recursos Hídricos

Orientação: Prof. António Alberto Chambel Gonçalves Pedro

Co-orientador: Prof. Luís Filipe Tavares Ribeiro

Évora, 2010

Patrícia e Francisco



176 865-

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas a quem expresso o meu sincero agradecimento:

Ao Prof. António Chambel e Prof. Luís Ribeiro pela orientação deste trabalho, amizade e pronta disponibilidade.

À ARH Tejo pela cedência dos dados das captações licenciadas e pela disponibilização dos piezómetros para recolha de dados.

Ao Prof. Jorge Dinis pelos valiosos esclarecimentos acerca da geologia da área do aquífero.

À Alice Fialho e Joaquim Condeça pelo apoio no trabalho de campo.

À Patrícia pela revisão do texto e, o mais importante, pelo apoio familiar.

Modelo hidrogeológico tridimensional do aquífero de Ourém

Resumo

Enquadra-se o aquífero de Ourém no Sinclinal de Ourém e na Bacia Lusitaniana. Propõe-se um modelo conceptual do aquífero de Ourém que tem em consideração a cota da base e do topo e a espessura da formação geológica que o constitui. Estabelece-se um paralelo entre os Membros da Formação da Figueira da Foz e as características hidrogeológicas do aquífero. Avalia-se o regime de exploração por métodos estatísticos robustos, de onde se concluiu que a captação de água desregulada tem levado a uma descida constante dos níveis piezométricos, atingindo em algumas áreas os 7 cm/ mês, independentemente da precipitação anual nos últimos anos. Uma campanha de monitorização definiu o sentido NW-SE como o sentido preferencial de fluxo e a área NW do aquífero de Ourém como a área preferencial de recarga. Analisam-se qualitativamente as condições de fronteira do aquífero.

Palavras Chave

Aquífero de Ourém, modelo conceptual, formação da Figueira da Foz, regime de exploração, modelo Temez

Three-dimensional hydrogeological model of the Ourém aquifer

A tridimensional conceptual model of the Ourém aquifer is defined, considering its top and bottom. The thickness of Figueira da Foz geological formation was calculated. A parallel between the Members of Figueira da Foz formation and hydrogeological characteristics of the aquifer is established. A robust statistical analysis concludes that the unregulated water abstraction of aquifer has led to a constant decrease of the piezometric levels. In some areas the decreasing achieves 7 cm/month, independently of the annual rainfall. A piezometric monitoring campaign defines the NW-SE direction inside the preferential flow direction of the aquifer and the area NW of aquifer as the preferred aquifer recharge area. The aquifer boundary conditions are qualitatively evaluated.

Key-words: Ourém aquifer, conceptual model, Figueira da Foz formation, exploitation regime, hydrological model, Temez

ÍNDICE

1	Introdução e Objectivos.....	1
2	Revisão bibliográfica.....	4
3	Metodologias de análise.....	6
3.1	Modelo Temez	6
3.2	Teste de Mann-Kendall com correcção sazonal	8
4	Enquadramento Geográfico e Administrativo	12
5	Caracterização dos Usos da água e da ocupação do solo	14
6	Geomorfologia e hidrologia	18
6.1	Enquadramento	18
6.2	Modelação do escoamento da Sub-bacia do Rio Nabão.....	20
7	Enquadramento geológico.....	23
7.1	Introdução.....	23
7.2	Bacia Lusitaniana.....	23
7.2.1	Enquadramento	23
7.2.2	Períodos de rifting	25
7.2.3	Evolução pós-rift	27
7.3	Sinclinal de Ourém / Aquífero de Ourém	28
7.3.1	Introdução.....	28
7.3.2	Estratigrafia	31
8	Enquadramento e caracterização hidrogeológica	44
8.1	Enquadramento	44
8.2	Características gerais do aquífero	45
8.3	Condições de fronteira	46
8.4	Piezometria	47

9	Proposta para o modelo tridimensional do aquífero.....	54
10	Conclusões.....	59
11	Bibliografia.....	60

Índice de Figuras

Figura 1: Enquadramento do modelo numa ferramenta de apoio à decisão	2
Figura 2: Esquema do modelo hidrológico Temez	6
Figura 3: Visualização gráfica do cálculo das amplitudes segundo o método de Kendall-Theil	11
Figura 4: Enquadramento geográfico e administrativo	12
Figura 5: Volume extraído para abastecimento público	14
Figura 6: Captações inventariadas e ocupação do solo,	16
Figura 7: Cotas e declives topográficos	18
Figura 8: Sub-bacias hidrográficas e representação da bacia modelada	20
Figura 9: Comparação entre escoamento observado e simulado	21
Figura 10: Séries de escoamento observado e modelado	22
Figura 11: Localização da Bacia Lusitaniana	24
Figura 12: Geologia do sistema aquífero	30
Figura 13: Perfis geológicos no aquífero de Ourém – sobrelevação 10x	32
Figura 14: Determinação da morfologia da base da Formação da Figueira da Foz na área do Aquífero de Ourém.....	33
Figura 15: Espessura da Formação da Figueira da Foz na área do Aquífero de Ourém	34
Figura 16: Quadro litoestratigráfico do Sinclinal de Ourém, com representação dos Membros da Figueira da Foz e litologia predominante	36
Figura 17: Espessura dos calcários margosos de Ourém e Batalha no aquífero de Ourém.....	40
Figura 18: Espessura das formações do Miocénico no aquífero de Ourém	42
Figura 19: Enquadramento hidrogeológico	45
Figura 20: Séries piezométricas monitorizadas nos piezómetros operados pela ARH Tejo (INAG), série de precipitação ponderada e precipitação acumulada respectiva	49
Figura 21: Localização dos piezómetros e tendência temporal das séries piezométricas.....	50
Figura 22: Estações meteorológicas consideradas, polígonos de Thiessen respectivos	51

Figura 23: Isopiezas e principais sentidos do fluxo	53
Figura 24: Níveis propostos para o modelo tridimensional.....	56
Figura 25: Proposta para o modelo conceptual do fluxo de água subterrâneo	57

1 INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

O sistema aquífero de Ourém corresponde a uma bacia sedimentar cretácica com uma área de 316 Km², situada na Unidade Hidrogeológica da Orla Ocidental.

Localiza-se essencialmente dentro dos limites do concelho de Ourém, ocupando ainda parte dos concelhos de Pombal, Leiria, Tomar e Alvaiázere. Na área do aquífero estão representadas as bacias hidrográficas dos rios Mondego, Lis e Tejo, sendo esta última a principal bacia drenante das ribeiras na área do sistema aquífero. Desta forma, encontra-se na área de administração da ARH-Tejo.

Este sistema aquífero está fortemente ligado às actividades socioeconómicas da área onde se localiza, uma vez que é a fonte de água quase integral para todos os seus intervenientes. De facto, seja para consumo humano, industrial, pequenas explorações agrícolas, fontanários com tradição popular ou até para efeitos decorativos tendo por base o seu artesianismo repuxante, a água deste aquífero é cada vez mais explorada, não só pela sua fácil disponibilidade, mas também devido às suas características físico-químicas, adequada a todos os tipos de usos. Refira-se o interesse recente de empresas ligadas ao engarrafamento de água em explorar este sistema aquífero.

Uma exploração insustentável e a existência de um número cada vez maior de captações tecnicamente inacabadas, de onde resultam caudais repuxantes, desde a sua construção (cada uma delas com capacidade para abastecer mais de 800 pessoas) está a promover uma sobre-exploração contínua do aquífero, visível na descida dos níveis piezométricos nos últimos anos. A médio prazo, a descida dos níveis piezométricos levará por sua vez ao termo dos caudais repuxantes.

Actualmente, o CVRM - Centro de Geosistemas, do Instituto Superior Técnico está a desenvolver o modelo numérico de fluxo deste aquífero visando a integração numa ferramenta de apoio de suporte à decisão. Desta forma, os resultados deste trabalho irão integrar neste modelo de fluxo.

Por constituir uma tarefa a montante do processo de modelação, a determinação correcta da geometria e modelo conceptual do aquífero é decisivo para o sucesso da calibração do modelo de fluxo e por sua vez para a fidedigna simulação da realidade.

Um sistema de apoio à decisão bem implementado é fundamental para a sua integração nos processos de gestão dos recursos hídricos.

Na Figura 1 enquadra-se este trabalho na execução da ferramenta de apoio à decisão.

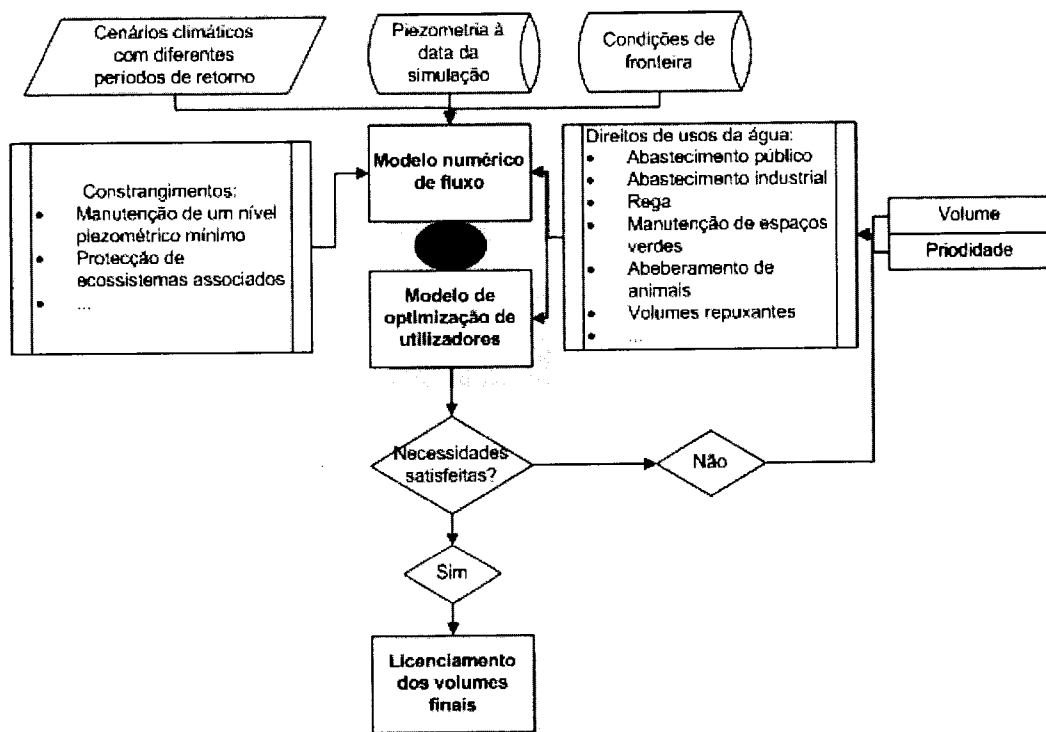


Figura 1: Enquadramento do modelo numa ferramenta de apoio à decisão

Além desta proposta, estudam-se outras variáveis fundamentais para o processo de modelação do fluxo, tais como:

- sentido de fluxo regional, determinado após uma campanha de monitorização piezométrica;
- potencial integração num sistema de apoio à decisão dos modelos de fluxo subterrâneo e superficial, estudando-se a viabilidade de modelação do escoamento superficial para estudo de cenários futuros;

- avaliação das condições de fronteira com os corpos de água adjacentes;
- avaliação das condições de exploração do aquífero, através de um estudo estatístico robusto que avalia o significado das variações piezométricas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma vez que este trabalho procura conhecer a morfologia tridimensional do aquífero de Ourém, a bibliografia que lhe serviu de base compreende essencialmente trabalhos técnicos de cariz geológico.

Neste capítulo referem-se os principais trabalhos consultados para as diferentes áreas abordadas.

Desta forma, para se conhecer a dinâmica da formação da Bacia Lusitaniana, onde se enquadra a formação que constitui o aquífero de Ourém, consideraram-se principalmente os seguintes trabalhos:

- Kullberg (2000), que corresponde à tese de doutoramento do autor, onde é feita uma descrição muito aprofundada sobre a Bacia Lusitaniana organizada pelos períodos de rifting;
- Kullberg *et al.* (2006), refere-se a um artigo resultante da tese anterior onde o autor limita a caracterização da bacia às vertentes estratigrafia, paleogeografia e tectónica;
- Dias & Ribeiro (1995) fazem uma descrição sobre a evolução da cintura Varisca, que corresponde à base da Bacia Lusitaniana, num contexto Europeu;
- Em Ravnas *et al.* (1997) é feita uma análise tectono-estratigráfica da formação da Abadia, do Jurássico superior. A área de estudo localiza-se na praia de Santa Cruz;
- Rasmussen *et al.* (1998) interpretam vários perfis sísmicos feitos em diferentes áreas da Bacia Lusitaniana. Ao fazer um mapeamento destes perfis permite conhecer a morfologia das transições entre formações;
- Stapel *et al.* (1996) avaliam e quantifica a subsidência verificada na bacia durante o Miocénico baseando-se nos dados de 26 sondagens;
- Nos trabalhos de Proença Cunha & Pena dos Reis (1995) e Dinis & Trincão (1995) é abordado especificamente o tema das discordâncias existentes na estratigrafia da Bacia. O segundo foca a discordância do Aptiano, que marca a base do aquífero.

Para o conhecimento aprofundado da Formação da Figueira da Foz, foram essenciais os seguintes trabalhos:

- Dinis *et al.* (2008) e Dinis *et al.* (2002) onde são descritas as transgressões e regressões de segunda ordem que influenciaram a deposição dos sedimentos durante o Cretácico;
- Dinis *et al.* (1994) e Dinis (2001) onde são enumerados e caracterizados os Membros da Formação da Figueira da Foz.

Os trabalhos de Berthou (1984) e Callapez (2003) foram determinantes para o estudo do contacto entre a Formação da Figueira da Foz e os calcários margosos de Ourém e Batalha.

Relativamente aos trabalhos existentes sobre a hidrogeologia do aquífero analisou-se o relatório profissionalizante de Paralta (1995), onde é feita uma primeira abordagem das características do aquífero, e os dois artigos resultantes desse trabalho: Paralta & Lourenço da Silva (1998) e Paralta *et al.* (1999).

Foram tidas ainda em consideração as fichas resumo sobre os aquíferos de Ourém, Pousos-Caraguejeira e Maciço Calcário Estremenho (Almeida *et al.* 2000), disponíveis na página electrónica do Instituto da Água.

Para a determinação do método estatístico a utilizar na avaliação do regime de exploração do aquífero, consideraram-se as notações apresentadas em Helsel & Hirsch (1992) para a programação do algoritmo que permitiu o cálculo das tendências dos níveis piezométricos.

Dada a sua natureza, destacam-se as seguintes referências pela sua importância transversal a todo este trabalho:

- Manupella *et al.* (1978)
- Teixeira & Zbyszewski (1968)
- Manupella *et al.* (2000)
- Oliveira *et al.* (1992)

Estas referências respeitam às notícias explicativas das cartas geológicas de Portugal à escala 1:50 000 e à cartografia geológica 1:500 000.

3 METODOLOGIAS DE ANÁLISE

3.1 Modelo Temez

Para a avaliação da possibilidade de agregação de um modelo de escoamento superficial ao modelo de fluxo subterrâneo, ajustou-se um modelo hidrológico à série de escoamento da bacia hidrográfica mais representada no aquífero, monitorizada pelo Instituto da Água. O modelo, do tipo agregado, denomina-se por Temez (Crawford & Linsley, 1966) e simula o escoamento numa bacia hidrográfica tendo por base a precipitação e evapotranspiração potencial mensais.

Este modelo considera dois reservatórios: um ao nível da zona não saturada e outro ao nível da zona saturada, sendo que a água armazenada no reservatório da zona não saturada corresponde à humidade do solo e a água armazenada no reservatório da zona saturada corresponde ao armazenamento nos aquíferos.

A Figura 2 apresenta as entradas e saídas de cada um dos reservatórios e a sua contribuição para o escoamento total na bacia. Como se pode ver pela figura, o reservatório da zona não saturada recebe água por precipitação e perde por evapotranspiração e por excesso de armazenamento. Do excesso de armazenamento deste reservatório, parte esco superficialmente e a restante infiltra para o reservatório da zona saturada. Relativamente ao reservatório da zona saturada, este recebe água por infiltração e perde por esgotamento do aquífero, correspondendo esta perda à contribuição para o escoamento superficial. O escoamento superficial total na bacia corresponde à soma das contribuições dos dois reservatórios para o escoamento superficial.

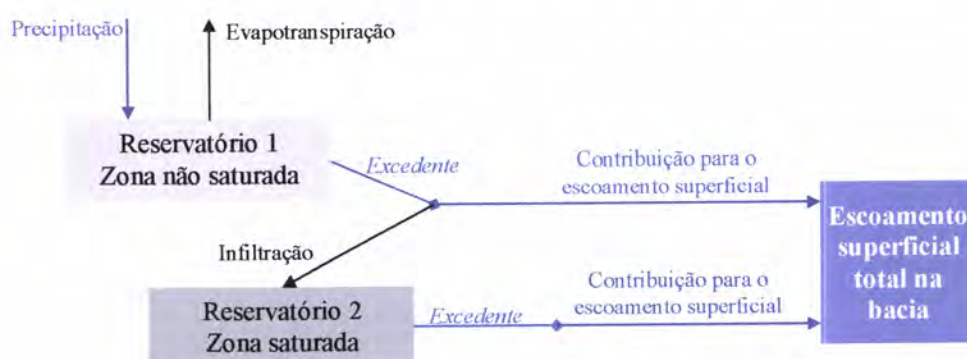


Figura 2: Esquema do modelo hidrológico Temez

Para calibração das séries modeladas, este modelo considera quatro parâmetros:

C (adimensional): coeficiente de excedente (coeficiente de perda de água para o escoamento superficial imediato);

H_{max} (mm): capacidade de campo (capacidade do reservatório da zona não saturada);

I_{max} (mm): taxa máxima de infiltração;

α (adimensional): taxa de esgotamento do aquífero.

Esta calibração deverá assentar nos seguintes pressupostos:

O Parâmetro **C** corresponde a um coeficiente de perda de água para o escoamento superficial imediato. De acordo com a concepção do modelo, valores mais altos deste parâmetro correspondem a maiores retenções de água pelas camadas superficiais do solo, contribuindo desta forma para o aumento da evapotranspiração real e para a diminuição do escoamento superficial e total;

A capacidade máxima de armazenamento (**H_{max}**) representa a capacidade que as camadas superficiais de solo têm para armazenar água. Desta forma, quando se consideram valores mais altos para este parâmetro potencia-se a disponibilidade de água para evapotranspiração e conseqüentemente, menor disponibilidade de água para infiltração, escoamento superficial e total;

A taxa de infiltração máxima (**I_{max}**), representa, como o nome indica, o valor teórico máximo de infiltração. Para a calibração dever-se-á considerar que valores mais altos deste parâmetro correspondem a maiores volumes que infiltram do reservatório da zona não saturada para o reservatório da zona saturada. Apesar de influenciar os valores de escoamento imediato, não influencia o valor de escoamento total, ou seja, apenas afecta a sua distribuição temporal.

A constante de recessão **α**, refere-se à contribuição das reservas subterrâneas para o escoamento. Tal como o parâmetro anterior, não afecta o valor de escoamento total, apenas a sua distribuição temporal.

Estes parâmetros, uma vez calibrados, permitem o melhor ajustamento possível entre a série de escoamento observada e a série calculada.

3.2 Teste de Mann-Kendall com correcção sazonal

Para o estudo da tendência dos níveis piezométricos optou-se por um método robusto com correcção sazonal, conhecido por teste de Mann-Kendall.

O teste de Mann-Kendall (Helsel & Hirsch, 1992, Hirsch & Slack, 1984 e Hirsch *et al.* 1982) identifica a presença de uma relação monótona positiva ou negativa entre duas variáveis, não considerando por isso várias relações positivas e negativas na mesma série de dados. No caso de se tratar de séries temporais, a relação a estudar será a variação de uma variável em função do tempo.

Para o cálculo de uma possível tendência positiva ou negativa de uma série, ordena-se a série e contabiliza-se o número de acréscimos e decréscimos entre os mesmos meses dos anos considerados. Deste modo, por não se comparar meses diferentes, elimina-se o factor sazonalidade, resultando assim treze análises de tendências, doze para os meses do ano e uma para a série total.

Descreve-se de seguida o procedimento desta metodologia:

Para cada mês do ano considere-se um parâmetro S definido pela seguinte fórmula:

$$S = P - N \quad [1]$$

onde:

P – número de vezes que ocorre uma variação positiva quando se compara o mês y_i do ano i com o mês y_j do ano j , ou seja $y_i < y_j$ para $i < j$;

N – número de vezes que ocorre uma variação negativa quando se compara o mês y_i do ano i com o mês y_j do ano j , ou seja $y_i > y_j$ para $i < j$.

Após a avaliação do parâmetro S , estima-se o parâmetro Z_S tal que:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_S} & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma_S} & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad [2]$$

onde
$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n}{18} \cdot (n-1) \cdot (2n+5)} \quad [3]$$

e n representa os valores medidos do mês em análise.

Considera-se, para um nível de significância pré-definido, que a série apresenta tendência de mudança quando:

$$p = 2 \cdot (1 - Z_{crit}) < 0,1 \quad [4]$$

em que Z_{crit} é o valor da distribuição normal de $|Z_S|$.

O que define se a série apresenta tendência de descida ou subida é o sinal do parâmetro S :

$$\begin{cases} S > 0 \text{ e } p < 0,1 & \text{tendência de subida} \\ p > 0,1 & \text{não tendência} \\ S < 0 \text{ e } p < 0,1 & \text{tendência de descida} \end{cases}$$

No caso de ocorrerem empates entre meses ($y_i = y_j$), Kendall (Helsel & Hirsch, 1992) propõe a seguinte modificação para o cálculo do parâmetro σ_S :

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5) - \sum_{i=1}^n [t_i \cdot (i) \cdot (i-1) \cdot (2i+5)]}{18}} \quad [5]$$

onde:

n : valores conhecidos do mês considerado;

i : número de valores iguais entre meses;

t_i : número de vezes que o valor i se repete numa série de meses.

Como exemplo considere-se os seguintes valores de Janeiro numa série de 10 anos:

<1 <1 3 2 <1 3 3 <1 2 3

Neste exemplo ocorrem três tipos de empates: dois empates de quatro valores iguais ($t_i=2$; $i=4$) e um empate de dois valores iguais ($t_i = 1$; $i = 2$).

Para a estimação da amplitude das tendências, utiliza-se também um método não paramétrico, conhecido por linha robusta de Kendall-Theil (Helsel & Hirsch, 1992).

Para o cálculo desta amplitude, ou declive, correspondente à amplitude de mudança por unidade de tempo, consideram-se, para um dado mês, os declives da combinação de todos os anos, resultando $\frac{n(n-1)}{2}$ pares de valores, onde n corresponde ao número de valores conhecidos do mês considerado. O declive da linha robusta corresponde à mediana desses valores. De outro modo: para todos os $i < j$ em que $i=1,2,\dots,(n-1)$ e $j=2,3,\dots,n$, a estimação do declive é dada pela seguinte equação:

$$P_{50} \frac{(Y_j - Y_i)}{(X_j - X_i)} \quad [6]$$

O declive da série total corresponde à mediana de todos os declives resultantes da combinação entre os meses. O seu cálculo está exemplificado na Figura 3.

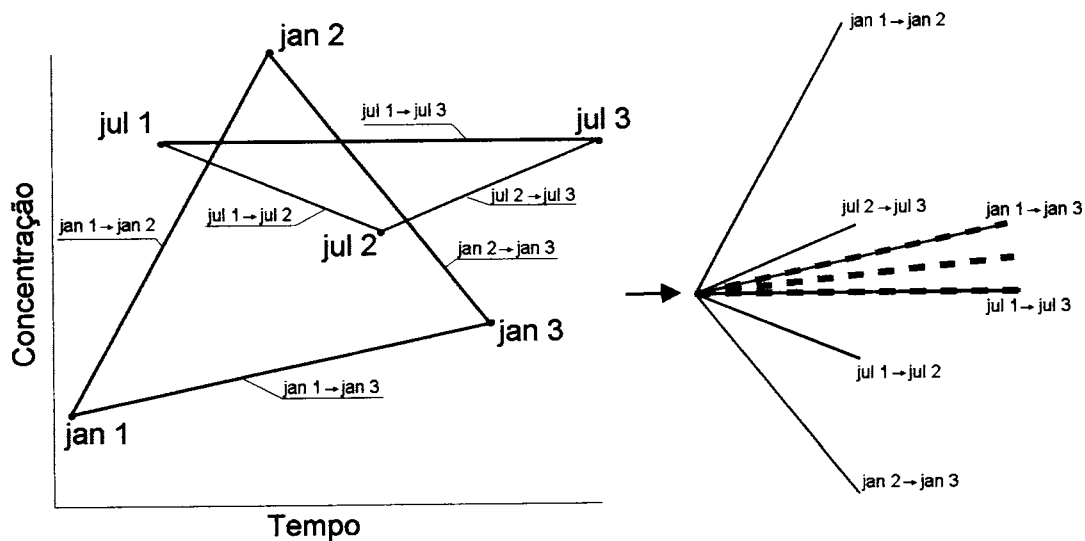


Figura 3: Visualização gráfica do cálculo das amplitudes segundo o método de Kendall-Theil (as linhas a tracejado representam a amplitude da tendência nos meses de Janeiro (azul), de Junho (verde) e da série total (preto)) – adaptado de Helsel e Hirsch, 1992

Estes declives, relacionam-se com o teste de Mann-Kendall através do parâmetro S tal que: para $S > 0$ o declive é positivo, para $S < 0$ o declive terá de ser negativo.

Após a aplicação desta metodologia aos dados em estudo, é possível afirmar se, ao longo da série, houve realmente descida ou subida dos valores dos parâmetros, ou, pelo contrário, se não houve tendência.

A área do aquífero compreende 14 sedes de freguesia distribuídas pela área do aquífero, o que prenuncia uma distribuição homogénea das extracções particulares.

Apesar de se localizar na área de duas Administrações de Região Hidrográfica (ARH Tejo e ARH Centro), a sua administração é garantida pela ARH Tejo.

Refira-se que o aquífero de Ourém é designado pelos órgãos administrativos como “O15”.

5 CARACTERIZAÇÃO DOS USOS DA ÁGUA E DA OCUPAÇÃO DO SOLO

O abastecimento público, quer pela sua natureza prioritária, quer pelo volume extraído, é o utilizador por excelência deste sistema aquífero. Destes utilizadores destacam-se a “Veolia Água - Compagnie Générale des Eaux Portugal”, que abastece a população do concelho de Ourém, e a Câmara Municipal de Pombal. Pelo gráfico da Figura 5 observa-se que o volume utilizado para abastecimento público tem-se mantido estável nos últimos anos, sendo de aproximadamente 2.6 hm³ anuais.

As captações públicas encontram-se localizadas essencialmente em dois pólos de captação; perto de Ourém ao longo das aluviões da Ribeira de Carnide e no Norte do aquífero, perto das localidades de Santiais e Fontinha. As restantes captações públicas encontram-se dispersas pela área do aquífero perto das principais localidades.

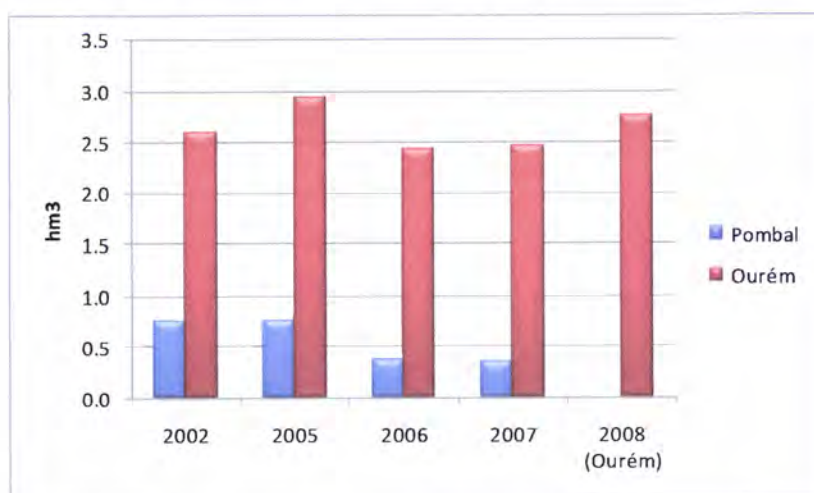


Figura 5: Volume extraído para abastecimento público

Na Figura 6 representam-se as captações inventariadas no âmbito deste trabalho.

Dada a natureza do tecido urbano da área em estudo, as captações particulares encontram-se por toda a área do aquífero. Exceptua-se a área NW, onde a densidade populacional é bastante baixa.

Estes furos estão associados a habitações particulares onde a água é utilizada para consumo humano, rega de pequenos espaços verdes e/ou áreas hortofrutícolas e, ainda que raro, abeberamento de gado. Este facto é comprovado pela projecção das captações na carta de ocupação do solo (Figura 6), onde cerca de 57% destas se localizam na classe

“Áreas agrícolas e agro-florestais”. As restantes situam-se na classe “Territórios artificializados” (18%) e na classe “Florestas e meios naturais e seminaturais” (25%).

Apesar de se desconhecerem em concreto os volumes extraídos por este grupo de utilizadores, poder-se-á considerar o seu valor como residual quando comparados com os volumes para abastecimento público, admitindo-se, pela natureza deste uso, que a água captada terá uma percentagem considerável de retorno ao sistema.

No que respeita ao uso industrial, apesar de existirem muitas indústrias de pequena dimensão, os areeiros destacam-se pelo volume de água necessário para a sua laboração. No entanto, também as taxas de retorno tendem a ser consideráveis.

Refira-se ainda que, pela qualidade hiposalina do aquífero, alguns fontanários associados a furos com artesianismo repuxante têm uma forte tradição popular, havendo em alguns deles um controlo de qualidade.

A Figura 6 demonstra também o número de captações inventariadas no sistema aquífero no âmbito deste trabalho. Apesar do mapa apenas apresentar as captações licenciadas pela ARH-Tejo até 2005 e as captações públicas em serviço no ano de 2007, permite antever a complexidade de gestão desta massa de água.

A maior dificuldade relacionada com a caracterização das captações refere-se à impossibilidade de quantificar a água captada. Acresce o facto de não haver controlo sobre os furos com artesianismo repuxante, representando este caudal na prática uma extracção efectiva, seja para efeitos de gestão do aquífero, seja para efeitos de modelação matemática.

Saliente-se que, pela experiência de campo e da conversa com os habitantes, se verifica a existência de inúmeras captações não licenciadas, podendo ocorrer em pequenos aglomerados populacionais uma relação de um furo licenciado para 15 não licenciados.

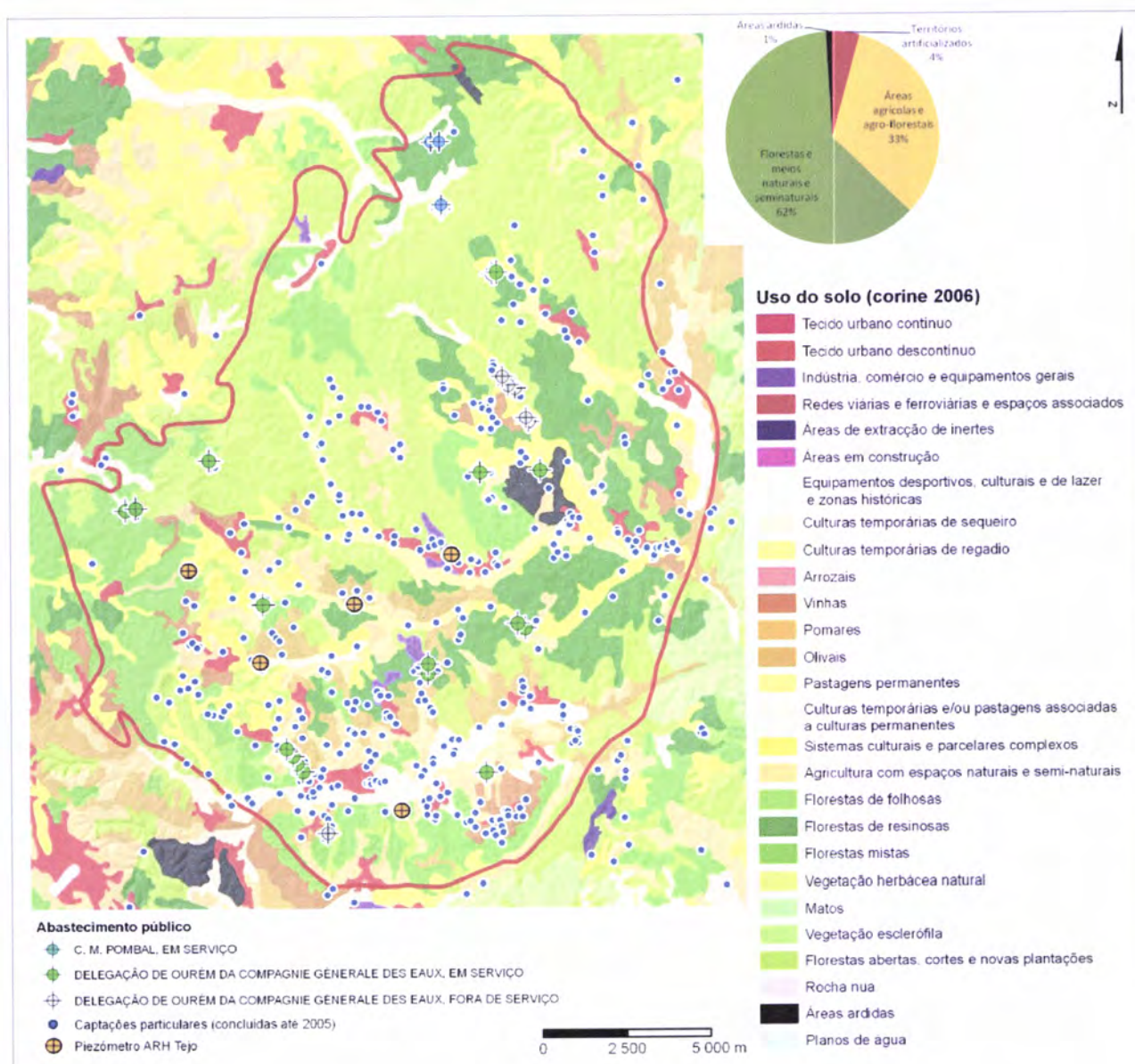


Figura 6: Captações inventariadas e ocupação do solo, de acordo com o projecto CORINE Land Cover 2006 – Nível 1 e 3 (Caetano *et al.* 2009)

Para a caracterização do uso do solo no aquífero, interpreta-se o mapa CORINE Land Cover do ano 2006 (Caetano *et al.*, 2009), que classifica as imagens de detecção remota tendo em vista o mapeamento da ocupação do solo (Figura 6).

Como se verifica na figura, a classe “Florestas e meios naturais e seminaturais” é de longe a mais representativa, ocupando cerca de 62% do aquífero. A classe “Áreas agrícolas e agro-florestais” ocupa cerca de 33% da área, o que totaliza com a anterior 95%.

Com muito menor representação, cerca de 4%, encontra-se a classe "Territórios artificializados". Salienta-se pelas piores razões a presença da classe "Áreas aridas", que ocupava no ano 2006 cerca de 1% da área do aquífero.

6 GEOMORFOLOGIA E HIDROLOGIA

6.1 Enquadramento

A geomorfologia da área do aquífero de Ourém é marcada em primeiro plano pela linha de fecho na área Oeste do aquífero, com orientação NNE-SSW, que demarca a bacia hidrográfica do Rio Tejo das bacias hidrográficas dos rios Mondego e Lis (Figura 7 e Figura 7). É nesta área que o aquífero tem as cotas mais elevadas, frequentemente superiores a 300 m.

A sudeste da linha de fecho referida, a geomorfologia apresenta aspectos distintos consoante a formação geológica aflorante. Desta forma, perto dos leitos das principais linhas de água os declives são inferiores a 10%, associados à presença das aluviões. Outro exemplo desta relação está patente no Sul do aquífero, também na bacia do Tejo, onde as cotas mais elevadas e declives superiores a 50% estão associados à presença dos calcários margosos de Ourém e Batalha e às formações do Miocénico assentes nas anteriores (descritos no capítulo 7.3.2).

As formações do Miocénico, pela sua fracção arenosa e conglomerática promovem a existência de planaltos no topo das vertentes onde prevalecem.

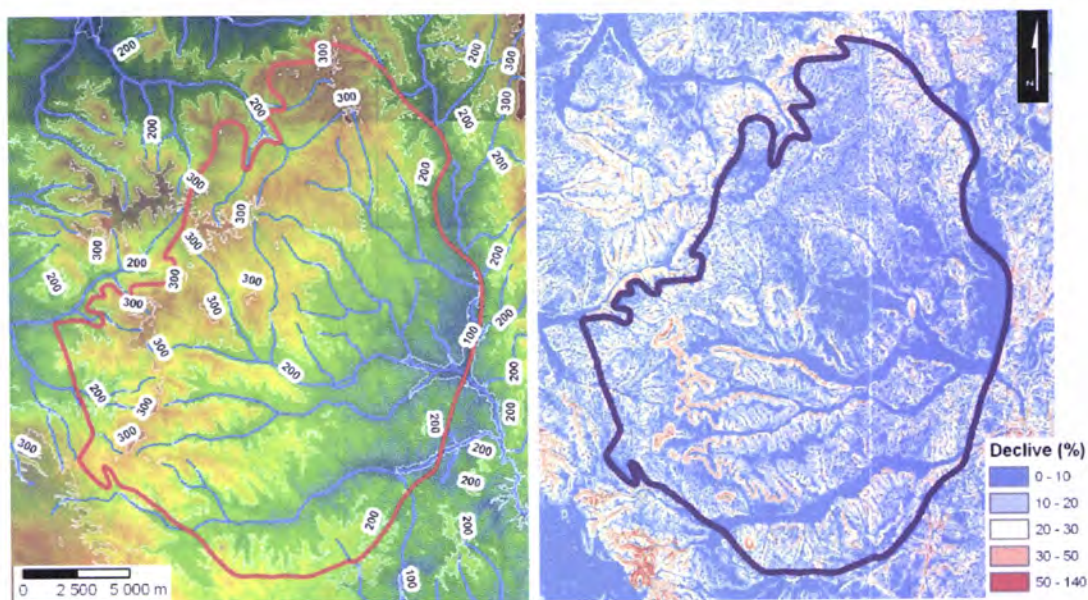


Figura 7: Cotas e declives topográficos

Salienta-se a posição do Castelo de Ourém, num afloramento dos calcários margosos de Ourém e Batalha, numa cota superior a 330 m onde os declives da topografia chegam aos 65%.

Ainda na bacia hidrográfica do Tejo, mas no Norte do aquífero, devido a uma maior homogeneização geológica, não existem aspectos geomorfológicos relevantes, variando os declives topográficos até ao máximo de 20%.

No que respeita à hidrologia (Figura 7), cerca de 75% da área do aquífero situa-se na bacia hidrográfica do Rio Tejo, mais concretamente na sub-bacia do Rio Nabão.

As linhas de água estão associadas às estruturas geológicas, podendo ser ortoclinais ou cataclinais a estas. Dado o enquadramento geológico do aquífero, saliente-se que todas as subbacias presentes no aquífero são do tipo exorreicas.

Das linhas de água que drenam a área do aquífero destacam-se as Ribeiras do Fárrio, da Salgueira, de Caxarias e do Olival, em que as suas bacias drenantes se situam integralmente na área do aquífero, e a Ribeira da Sabacheira, no Sul do aquífero, que drena a montante formações do Jurássico. Este facto é importante pois a qualidade da sua água poderá influenciar a qualidade do aquífero nesta região.

Na restante área, correspondente às bacias hidrográficas dos Rios Mondego e Lis, estão representadas quatro sub-bacias, destacando-se pela área que ocupam as do Rio Arunca, do Ribeiro de Espite e da Ribeira de Caldelas.

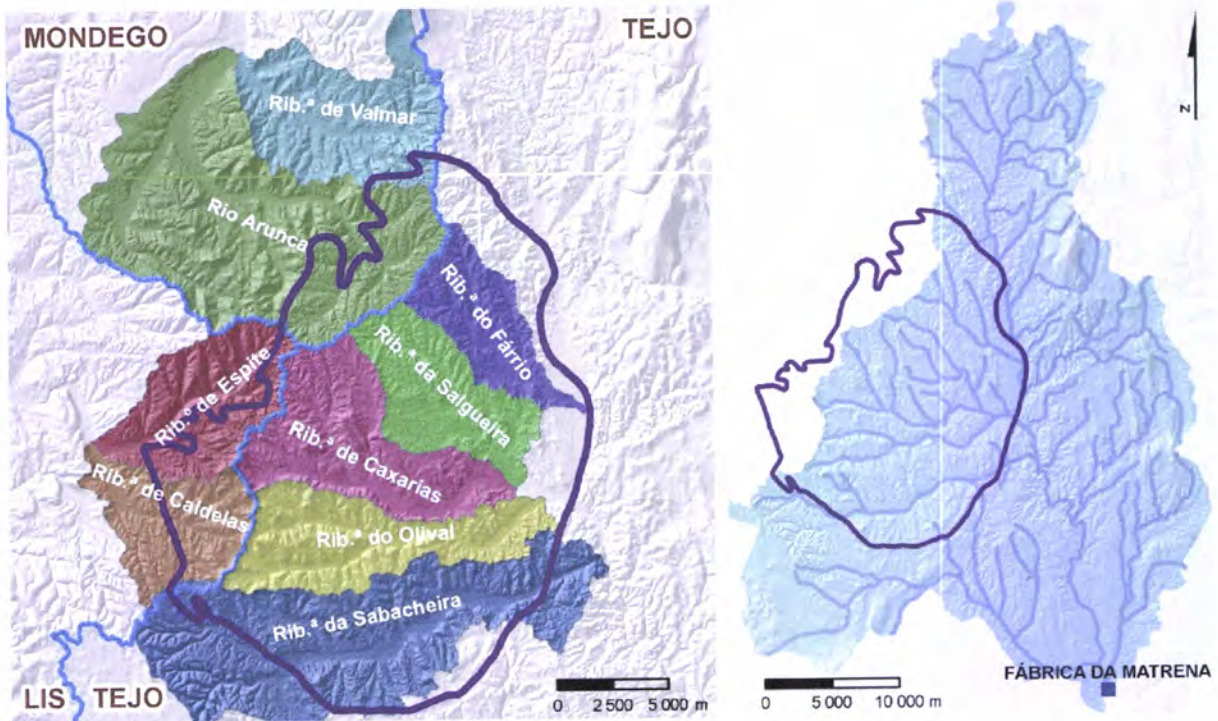


Figura 8: Sub-bacias hidrográficas e representação da bacia modelada

6.2 Modelação do escoamento da Sub-bacia do Rio Nabão

Um dos resultados mais importantes na modelação de um aquífero refere-se ao conhecimento e simulação da interacção entre recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Esta interacção, difícil de quantificar, é vital para a manutenção da biodiversidade ripícola durante todo o ano.

Ao se pretender neste trabalho conhecer algumas das variáveis mais importantes da modelação hidrogeológica, estuda-se a viabilidade de simular os recursos hídricos superficiais na área do aquífero. Apenas deste modo é possível determinar a viabilidade de desenvolvimento futuro de modelos integrados água subterrânea/superficiais.

Por essa razão, procura-se conhecer a viabilidade de modelação da bacia hidrográfica do Rio Nabão, por ser a mais representativa na área do aquífero (Figura 7). A estação hidrométrica que monitoriza o escoamento desta bacia denomina-se por “Fábrica da Matrena”.

A série de dados a simular pelo modelo Temez (Crawford & Linsley, 1966), descrito no capítulo 3.1, compreende o período entre Outubro de 1952 e Setembro de 1990, numa periodicidade mensal.

Uma vez que este trabalho não está focado na modelação do escoamento superficial, não se apresenta todo o processo de modelação, demonstrando-se apenas o resultado final após calibração. Na Tabela 1 apresentam-se os valores dos parâmetros que permitiram o melhor ajuste entre o escoamento observado e modelado.

Tabela 1: Resultado da calibração pelo modelo Temez

C	0.2
Hmax	162.5
lmax	600
Alfa	0.024

Como se observa na Figura 9 e Figura 10 é possível um bom ajuste entre a série modelada e observada, verificando-se uma excelente aproximação entre valores médios mensais e valor médio anual (representado no valor final da curva do escoamento médio mensal acumulado).

Da comparação entre os valores de escoamento anuais verifica-se uma aproximação à recta de calibração, ocorrendo em alguns anos uma subestimação ou sobrestimação dos valores relativamente elevada, aconselhando-se desta forma, para efeitos de validação do modelo hidrogeológico em cenários hipotéticos, a utilização do valor médio anual.

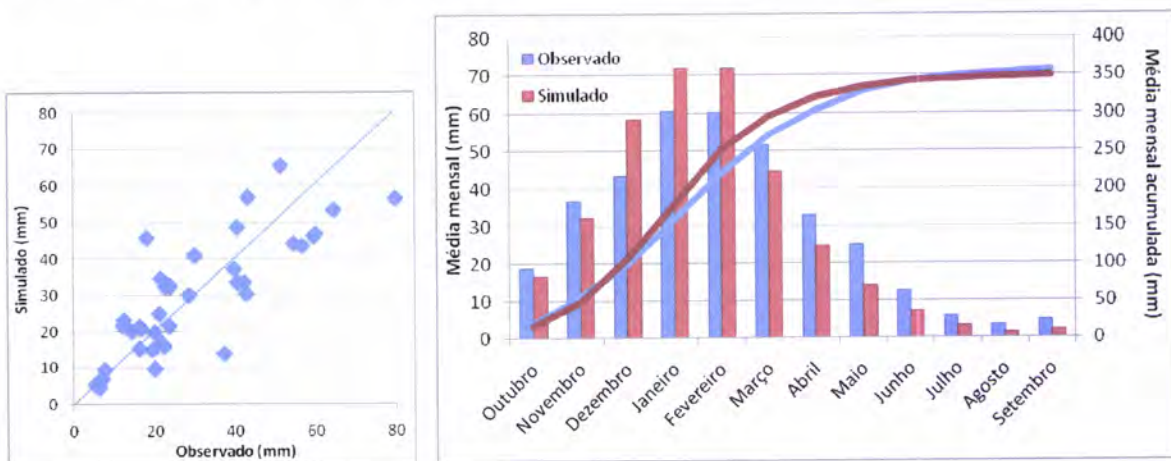


Figura 9: Comparação entre escoamento observado e simulado

Da observação das séries originais (Figura 10), confirma-se o bom ajuste entre a série observada e a série simulada.

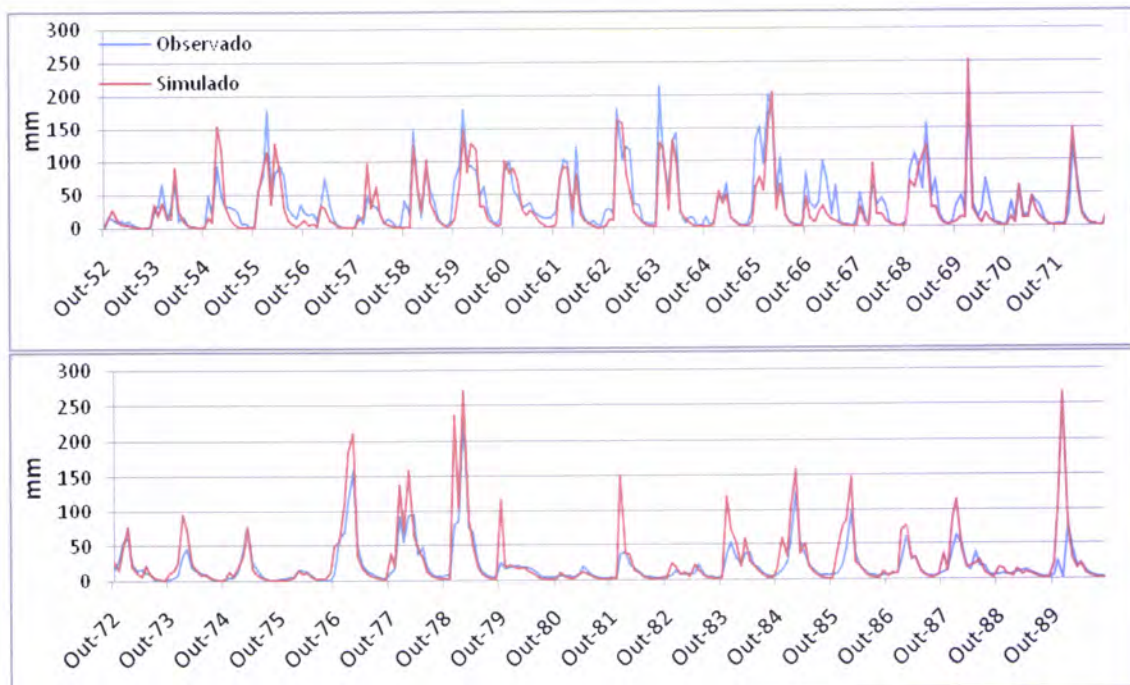


Figura 10: Séries de escoamento observado e modelado

7 ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

7.1 Introdução

Qualquer estudo que vise a definição ou compreensão da morfologia de um sistema aquífero, passa obrigatoriamente pelo estudo aprofundado das formações geológicas que o suportam, assim como pelas formações geológicas envolventes.

Para a elaboração deste capítulo foi necessária uma vasta compilação de relatórios e dados geológicos. No entanto, a morosidade desta fase é acompanhada pelo entusiasmo de se (re-) visitar uma das mais interessantes disciplinas da geologia, que “conta” a história geológica de Portugal.

Na área em estudo estão identificadas em profundidade duas estruturas importantes, sendo estas da base para o topo: Zona de Ossa Morena (Pré-câmbrico/Paleozóico) e Bacia Lusitaniana. Destas, a Bacia Lusitaniana é a que constitui a base do aquífero de Ourém, influenciando directamente a sua morfologia.

De seguida faz-se uma caracterização resumida da Bacia Lusitaniana.

7.2 Bacia Lusitaniana

7.2.1 Enquadramento

A Bacia Lusitaniana corresponde a uma bacia sedimentar localizada na Margem Ocidental Ibérica (Figura 11).

Os seus limites estão definidos a Este pela falha de Porto-Tomar, que faz fronteira com o Maciço Hespérico, e a sul de Tomar pela falha do Arrife, o seu limite Oeste é materializado por uma falha normal que contacta a bacia com o horst da Berlenga, a Sul os limites são feitos pela falha da Arrábida e a norte, apenas na plataforma continental, com a Bacia do Porto.

A sua formação e evolução estão fortemente associadas à abertura e distensão do Oceano Atlântico Norte, correspondendo à fragmentação da Pangeia. Por essa razão, o desenvolvimento da bacia forma-se em ambiente distensivo.

De entre as restantes bacias que se formaram nas mesmas condições é a que apresenta uma maior área emersa, o que justifica uma considerável produção de publicações científicas acerca deste tema. Acresce o facto de que, por ser uma bacia com potencial para exploração petrolífera, tem motivado a elaboração de sondagens e perfis sísmicos para prospecção.

A bacia é constituída por sedimentos depositados entre o Triásico médio (?) a superior e o Aptiano superior, tendo sido feita a deposição essencialmente sobre a unidade da Zona de Ossa Morena e eventualmente sobre a unidade da Zona Sul Portuguesa (Kullberg *et al.*, 2006)

A origem dos sedimentos, assim como a evolução e consequentemente a morfologia da bacia, estão fortemente associados ao episódio de rifting em que ocorreram.

De acordo com os intervalos de tempo em que ocorreu um período distensivo com uma importante reactivação de falhas normais, ocorrência de modificações estruturais, geométricas e/ou cinemáticas importantes à escala regional, alterações importantes no preenchimento sedimentar e existência de descontinuidades sedimentares, Kullberg (2000) propõe a existência de quatro períodos de rifting ao longo dos cerca de 135 M.a. de formação da bacia.

Enumeram-se de seguida algumas características destes quatro períodos.

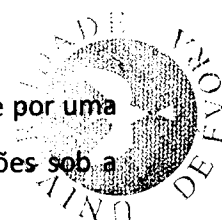
7.2.2 Períodos de rifting

Triásico–Sinemuriano

O primeiro episódio de rifting corresponde ao início do preenchimento de depressões da bacia por sedimentos de natureza essencialmente aluvio-deltaica, coincidente com um período distensivo que origina a abertura do Oceano Atlântico.

A par da formação da Bacia Lusitaniana formam-se as bacias do Alentejo, do Porto, da Galiza e do Algarve, entre outras bacias ibéricas.

Nesta fase inicial da sua formação, a Bacia Lusitaniana está limitada a oeste por uma sutura varisca e a este pelo Maciço Hespérico. Formam-se importantes depressões sob a



forma de grabens (de onde se destaca o graben de São Mamede–Monte Real) e hemigrabens, propiciadores da acumulação de sedimentos.

É durante este episódio que se depositam as formações de Dagorda e do Grupo dos Grés de Silves.

Pliensbaquiano-Oxfordiano

Neste segundo episódio de rifting, ocorre uma forte subsidência da bacia, de onde resulta uma estrutura em hemigraben, homoclinal, com inclinação para oeste.

Começam a evidenciar-se três sectores que levarão à ocorrência de diferentes profundidades e morfologias de subsidência que influenciará a acumulação dos sedimentos. Estes designam-se por sector setentrional, limitado a sul pela falha da Nazaré; sector central, situado entre as falhas da Nazaré e as falha de Montejunto e do Arrife; sector meridional, a sul do anterior.

Neste período, a bacia torna-se uma bacia interna, sob um mar epicontinental, limitada a oeste pelo horst da Berlenga. Estas condições tornam possível a formação de espessas bancadas de calcário, de onde se destaca a formação de Candeeiros.

Kimeridgiano-Berriasiano Inf.

O terceiro episódio de rifting marca profundamente a morfologia da bacia. Neste episódio ocorre uma forte distensão que irá reactivar falhas importantes, nomeadamente, Falha de Porto-Tomar, Falha da Arrábida, Falha do Vale interior do Tejo, Falha de Setúbal-Pinhal Novo, as quais correspondem aos limites actuais da bacia.

A bacia retoma a forma de um graben central com hemigrabens periféricos, localizados a oeste e este daquele.

Neste episódio, a Falha de Torres Vedras–Montejunto contribui para a segmentação da bacia em sub-bacias, especialmente no sector central (Kullberg *et al.*, 2006). Os mesmos autores referem a existência de três sub-bacias entre os paralelos de Lisboa e Nazaré, onde o valor de subsidência chega aos 2000 m num intervalo inferior a 4M.a..

Apesar de não ser consensual entre todos os autores, os estudos mais recentes (Kullber, 2000) apontam este período como o que marca o início do diapirismo na bacia, terminando este fenómeno no Aptiano inferior. Segundo Kullberg (2000), esta fase diapírica está associada numa primeira fase ao magmatismo de Cretácico inferior.

Posteriormente haverá reactivação dos fenómenos de diapirismo na bacia.

Berriasiano Sup.–Aptiano Sup.

Este período representa o quarto episódio de rifting da bacia e é marcado pela descontinuidade de ruptura da Bacia Lusitaniana, que corresponde a uma lacuna no registo sedimentar na quase generalidade da bacia.

Esta descontinuidade está relacionada com o aumento significativo da área de sedimentação e posterior enchimento da bacia no final do Aptiano–Albiano por enormes quantidades de detritos silicatados, fornecidos a partir de este pela elevação do Maciço Hespérico e a partir de oeste pelo levantamento do Horst da Berlenga durante o Aptiano superior. O seu contacto corresponde a uma discordância angular sobre as formações do Jurássico superior, médio e inferior, Triásico, Paleozóico e Pré-Câmbrico.

O topo da descontinuidade está marcado por um importante silcreto, indicando um clima subtropical durante o período de não sedimentação e estabilidade tectónica (Proença Cunha & Pena dos Reis, 1995).

Importa referir que esta descontinuidade marca a base do aquífero de Ourém, correspondendo a sua matriz geológica aos sedimentos depositados durante este período.

Salienta-se que esta descontinuidade ocorreu em várias bacias da Europa Ocidental (Dinis *et al.* 2008).

Após os quatro episódios de rifting, a bacia passa a constituir uma margem passiva, não estando geneticamente associada aos processos ocorridos posteriormente.

7.2.3 Evolução pós-rift

Após os quatro períodos de rifting, são reconhecidas duas etapas de preenchimento (Kullberg, 2000).

A primeira etapa corresponde aos calcários do Cenomaniano–Turoniano (denominados posteriormente neste trabalho como calcários margosos de Ourém e Batalha), existentes essencialmente nas regiões de Lisboa-Sintra, Nazaré–Leiria-Ourém e Bacia do Mondego. Assentam directamente nas camadas sedimentares do quarto período de rifting, sendo esta passagem marcada por um limite diacrónico entre um domínio silicioso e um carbonatado.

O desenvolvimento destes calcários coincide com o longo período de detumescência térmica pós-rifting porque passa a bacia na sua transição para margem passiva (Proença Cunha & Pena dos Reis, 1995). Será coincidente também com uma tendência de subida eustática (Kullberg *et al.*, 2006).

Após a formação destes calcários, a descida eustática verificada entre o Turoniano e o início do Campaniano contribuiu para um ambiente regressivo, assistindo-se a uma progradação generalizada dos sistemas aluvionares com sedimentação micácea (Kullberg, 2000).

A segunda etapa de enchimento está limitada ao sector setentrional da Orla meso-cenozóica e abrange o Campaniano superior e o Maastrichtiano.

7.3 Sinclinal de Ourém / Aquífero de Ourém

7.3.1 Introdução

A formação geológica que sustenta o aquífero em estudo resulta da deposição de sedimentos durante a quarta fase de rifting na Bacia Lusitaniana, mais especificamente numa estrutura em sinclinal na zona de Ourém, que corresponde a uma depressão das formações do Jurássico.

São várias as denominações informais conhecidas para esta formação. Entre outras, são descritas como “Grés belasianos” por Chofat (1900) ou por “Conglomerados de Caranguejeira” na notícia explicativa da Folha 27 (Manupella *et al.*, 2000).

Neste trabalho designa-se esta formação como “Formação da Figueira da Foz”, tal como proposto por Dinis (2001). Este autor faz um estudo comparativo entre os depósitos

situados a norte do paralelo da Nazaré que formam a base do Cretácico, propondo ainda a divisão da Formação da Figueira da Foz em sete Membros.

Os limites e a base do aquífero correspondem essencialmente às fronteiras entre a Formação da Figueira da Foz e formações do Jurássico, que lhe servem de balizamento (Figura 12). Estas formações jurássicas correspondem ao complexo de Vale de Lagares (Kimeridgiano inferior), que constitui a base do aquífero na área NW e o limite NW, e às camadas de Montejunto (Oxfordiano), subjacentes às anteriores, que materializam a restante área da base do aquífero e os seus limites Sul e Este.

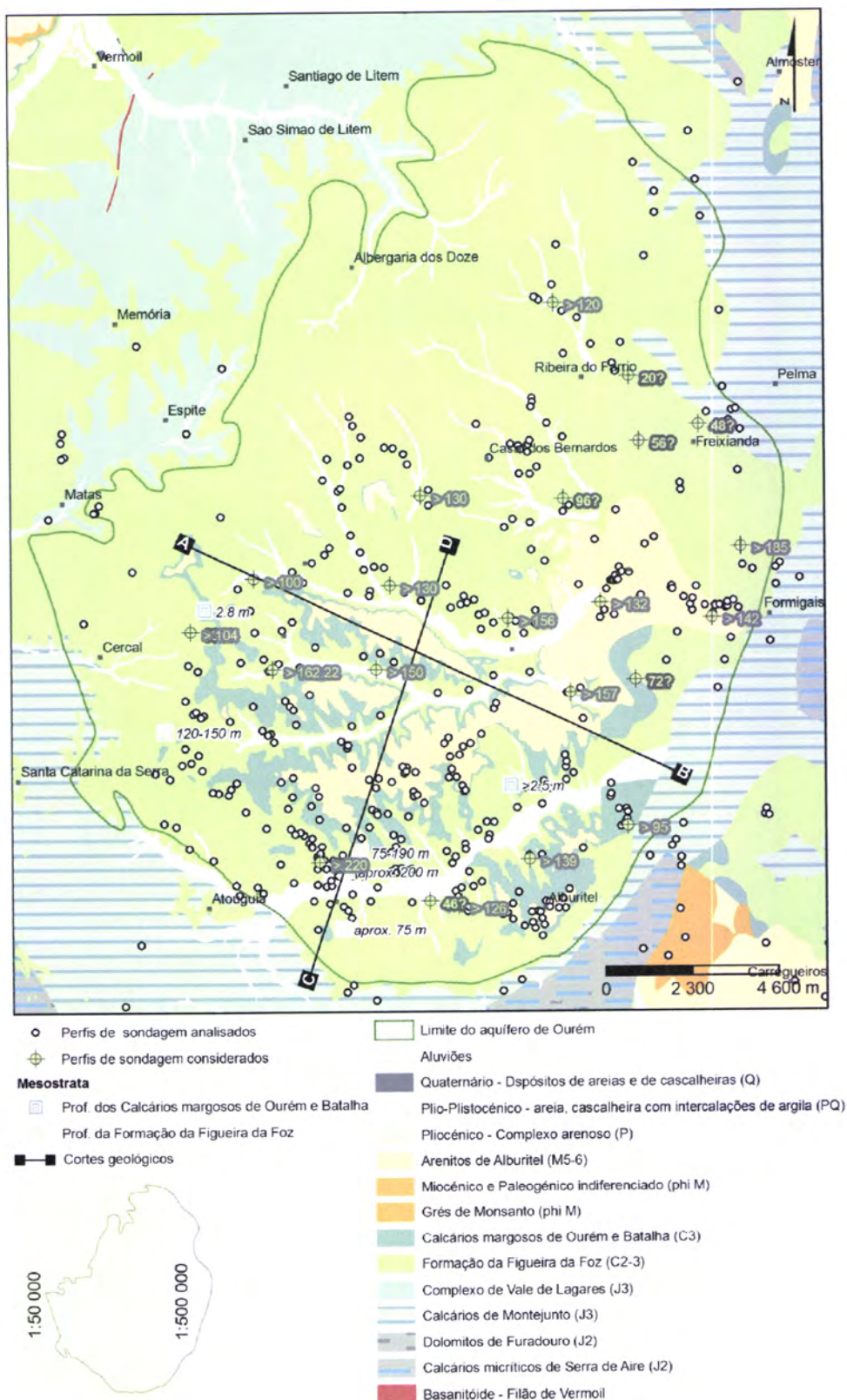


Figura 12: Geologia do sistema aquífero

(adaptado das escalas 1:50 000 (Manupella *et al.*, 2000), (Teixeira & Zbyszewski, 1968), Manupella *et al.* (1978) e 1:500 000 (Oliveira *et al.* 1992) com representação da localização dos perfis de sondagens, dos perfis geológicos (Figura 13) e da informação de mesostrata (LNEG, 2010)

7.3.2 Estratigrafia

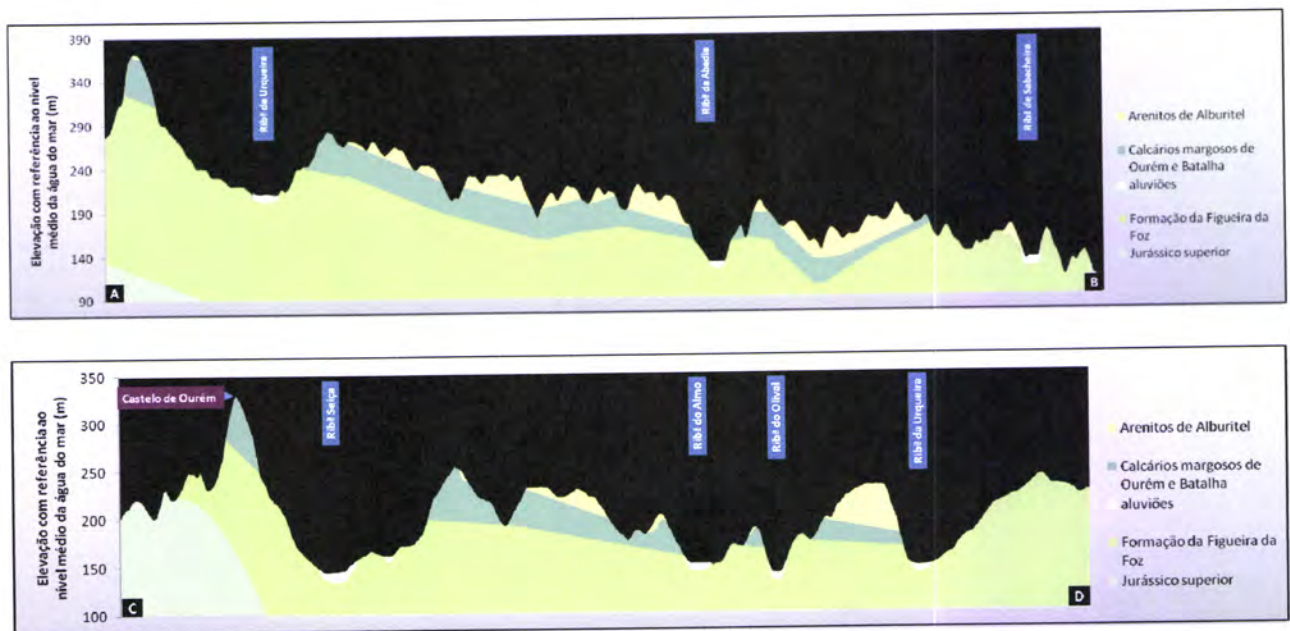
Cretácico–Aptiano, Albiano e Cenomaniano inferior

A este período correspondem os sedimentos depositados durante o quarto período de rifting da Bacia Lusitaniana, descritos anteriormente. Neste capítulo pretende-se definir os seus limites no sinclinal de Ourém, que correspondem na prática aos limites do aquífero, e conhecer as suas diferentes litofácies nesta região.

Para uma primeira aproximação à geometria do aquífero, interpretam-se dois perfis geológicos, perpendiculares entre si, no Sul do sinclinal (Figura 13).

Para a elaboração destes perfis geológicos tiveram-se em consideração os seguintes aspectos:

- A base da formação contacta com as formações do Jurássico, que sofrem uma depressão na área do aquífero em forma de sinclinal;
- Apesar do complexo de Vale de Lagares limitar a base da formação da Figueira da Foz na área Oeste do aquífero, uma vez que é constituído também por arenitos e argilas, nos perfis de sondagens em que não se distinguem estes da base do Cretácico, considera-se a existência de calcário ou margas como a profundidade máxima do aquífero;
- Na ausência de informação concreta da espessura da Formação da Figueira da Foz na área do aquífero, consideram-se perfis de sondagens em que não foi atingida a base desta formação, entrando esses valores para a interpolação da base como pontos de controlo;
- O contacto com os calcários margosos de Ourém e Batalha é sub-horizontal, determinando-se a sua profundidade através das cotas topográficas a que se encontra este contacto;
- Existe uma zona de falhas e dobras na região de Rio de Couros (Dinis, 1991).



**Figura 13: Perfis geológicos no aquífero de Ourém – sobrelevação 10x
(localização na Figura 12)**

Da análise dos perfis geológicos destaca-se a posição sub-horizontal das formações. Ocorre uma excepção a este facto na área de rio de Couros, visível no corte A-B entre a Ribã de Abadia e de Sabacheira, onde se interpretou a existência de uma dobra. Verifica-se ainda o aumento da inclinação dos contactos para NW e SW (direcção B-A e D-C), que ocorre simultaneamente ao aumento da espessura dos calcários margosos de Ourém e Batalha.

Após uma análise meticulosa dos perfis de sondagens inventariados no âmbito deste trabalho, juntamente com as cotas topográficas dos contactos entre o Cretácico e Jurássico e os dados de mesostrata adquiridos em LNEG (2010), integrou-se esta informação numa triangulação simples do tipo exacta (imagem superior da Figura 14). Depois da triangulação, atenuou-se a base da formação com uma média de quatro pixéis de forma a tornar a geometria mais aproximada da realidade, tendo em conta a natureza das formações. Saliente-se que a atenuação do resultado da triangulação foi bastante moderada, minimizando a perda de informação.

Apresenta-se a proposta para a base do aquífero na imagem inferior da Figura 14.

Esta figura corresponde a uma primeira proposta, que deverá ser complementada com mais informação, sobretudo no Norte do aquífero, onde a informação é escassa.

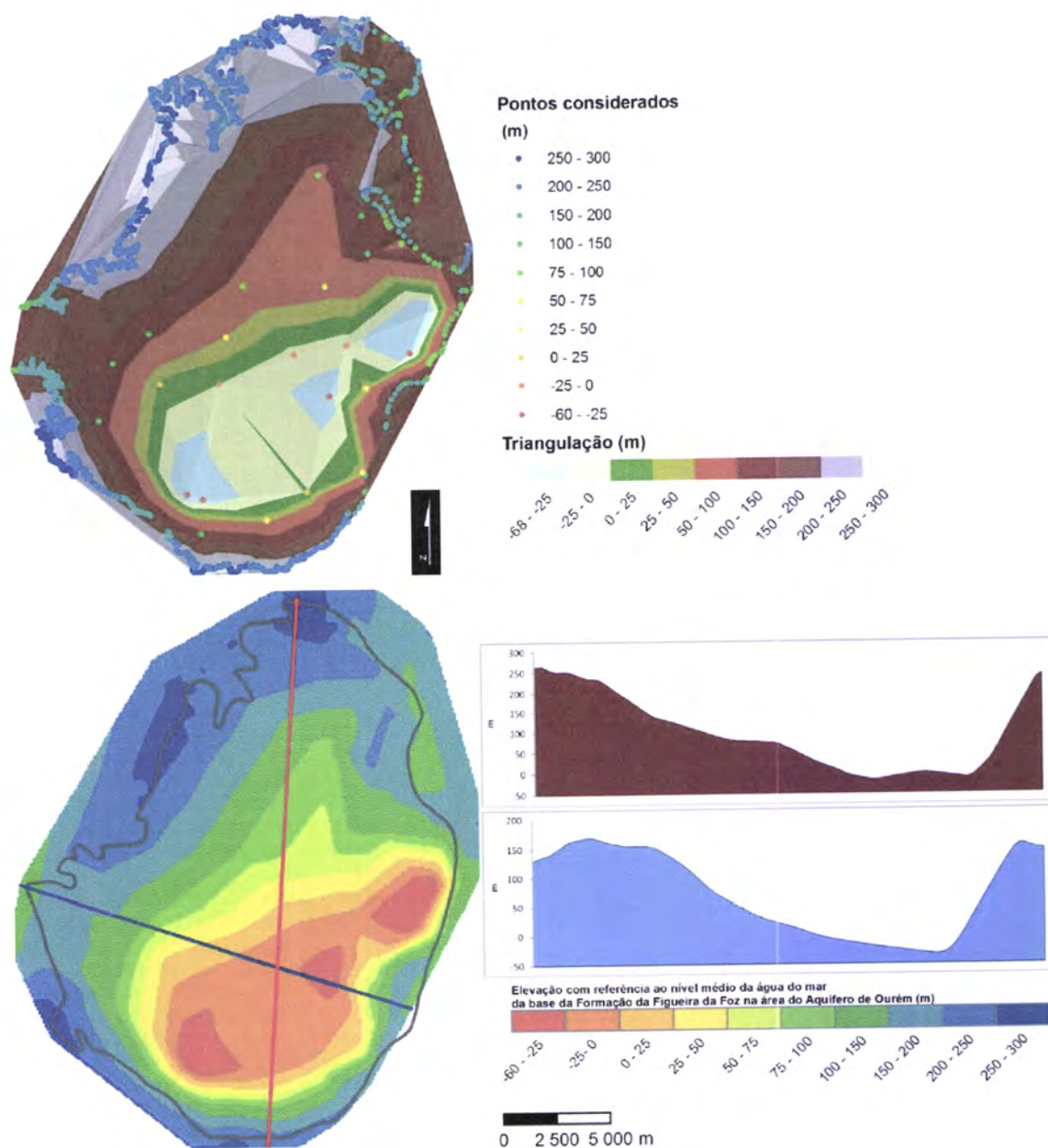


Figura 14: Determinação da morfologia da base da Formação da Figueira da Foz na área do Aquífero de Ourém

(todos os valores se referem a elevações em relação ao nível médio da água do mar (m))

Do resultado desta proposta verifica-se que a maior profundidade do sinclinal de Ourém, e consequentemente do aquífero, está localizada na área SE do aquífero, associada à forte inclinação do contacto com o Jurássico. Este contacto, bastante íngreme a Sul e Este, está associado à falha do Arrife. A noroeste, o contacto faz-se de uma forma menos inclinada, levando a que o aquífero tenha profundidades menores nesta zona.

Após a estimativa da profundidade da base da Formação da Figueira da Foz, tendo em consideração a topografia do terreno onde esta aflora e a base dos Calcários margosos de Ourém e Batalha, onde a formação da Figueira da Foz não aflora (Figura 17), foi possível calcular uma espessura aproximada da formação que constitui o aquífero de Ourém (Figura 15).

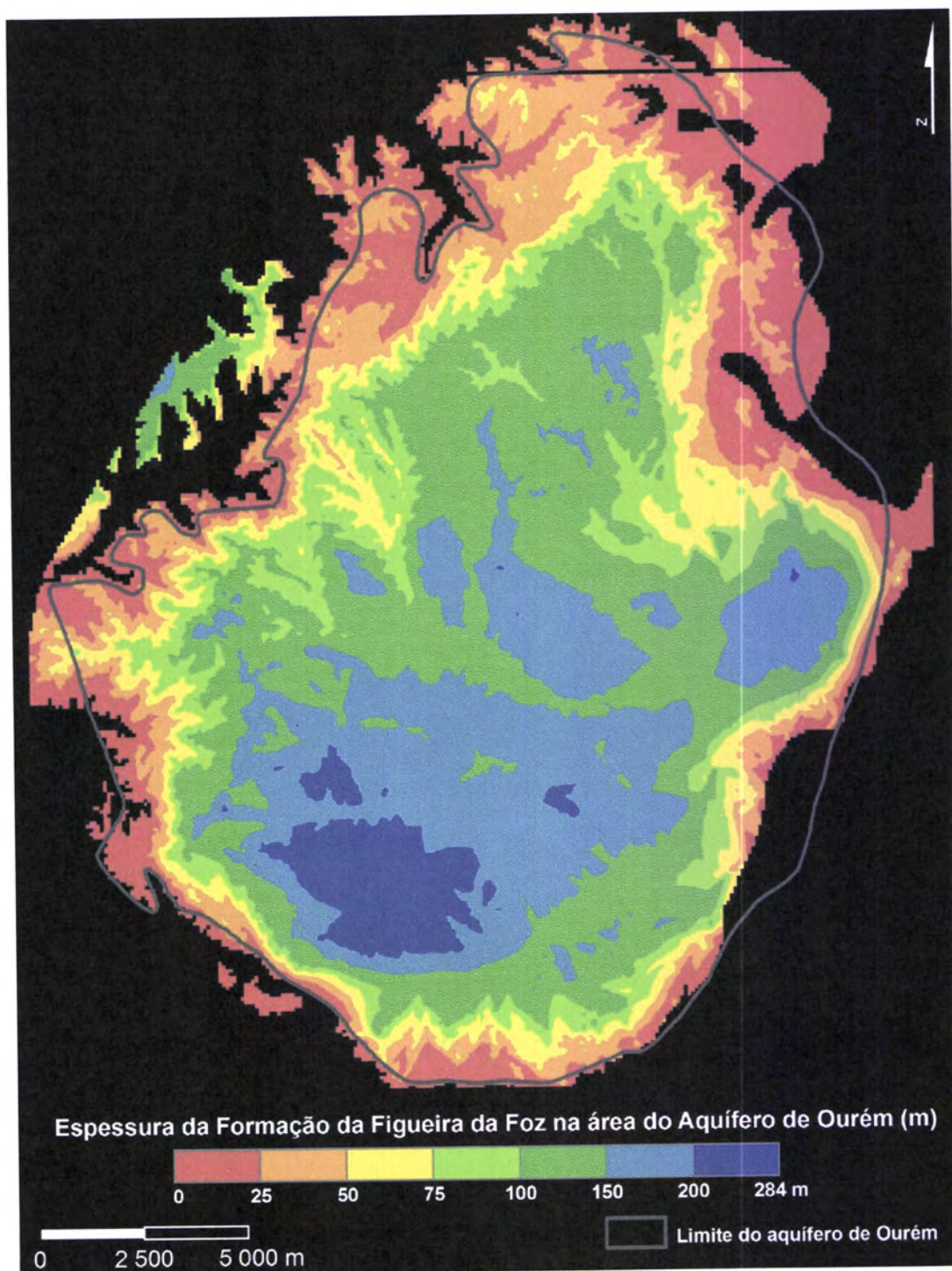


Figura 15: Espessura da Formação da Figueira da Foz na área do Aquífero de Ourém

Como se verifica na imagem, é no Sul do aquífero que a formação que o sustenta tem as espessuras maiores. Nesta região, a espessura desta formação é superior a 200 m, decrescendo este valor para norte até se reduzir por completo junto ao limite do aquífero.

Outro aspecto a considerar respeita à continuidade da Formação da Figueira da Foz para oeste, por uma faixa com cerca de 3 km, onde irá dar origem ao aquífero de Pousos-Caranguejeira.

Como resumo da proposta para espessura da Formação da Figueira da Foz, e consequentemente do aquífero, refira-se que varia essencialmente entre os 50 e os 284 m, sendo a espessura mais representada a que vai dos 100 aos 200 m.

Em Dinis *et al.* (1994) e Dinis (2001) é proposta uma subdivisão da Formação da Figueira da Foz em sete Membros, tendo por base a sua litofácies. Além da análise rigorosa das suas litofácies, o autor faz uma descrição de cada Membro tendo em conta a área-tipo, estratótipos de limites, variações laterais e interpretação sedimentológica e ambiental.

Uma vez que a litofácies é determinante para a permeabilidade das formações, a análise de cada Membro, e, sempre que possível, a determinação dos seus limites, é fundamental para o conhecimento da dinâmica, local ou regional, do aquífero.

Na Figura 16 representa-se a coluna litoestratigráfica dos Membros, o seu enquadramento com as restantes formações e as áreas tipo identificadas por Dinis (2001) onde os Membros são predominantes.

De seguida faz-se uma descrição dos Membros identificados no sinclinal de Ourém, de acordo com a bibliografia supracitada.

Dos sete Membros que constituem a Formação da Figueira da Foz é possível identificar cinco Membros no sinclinal de Ourém: Membro de Calvaria, Membro de Famalicão, Membro de Salgueira, Membro de Gondemaria e Membro de Caldelas. Os restantes, Membro de Cachucho e Membro de Faneca, não estão representados na área de estudo.

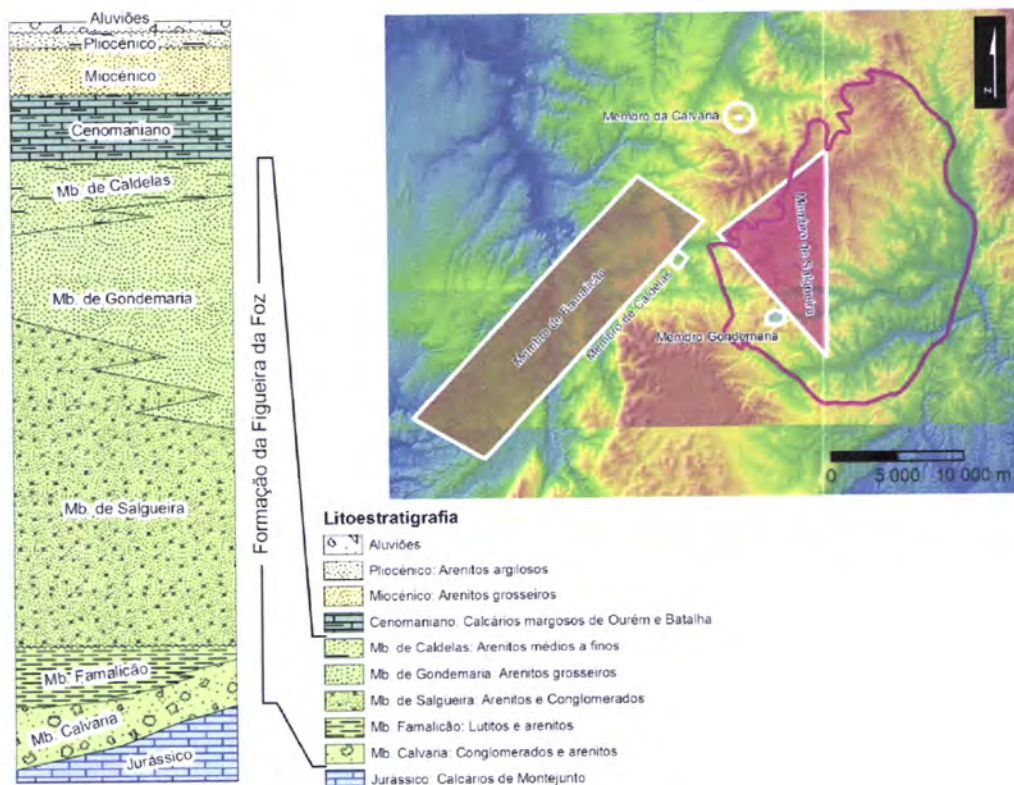


Figura 16: Quadro litoestratigráfico do Sinclinal de Ourém, com representação dos Membros da Figueira da Foz e litologia predominante (adaptado de Dinis (2001) e Manupella *et al.* (2000))

Todos os Membros são predominantemente siliciclásticos, podendo ser caracterizados pela importância relativa de conglomerados, arenitos ou lutitos. De seguida, caracterizam-se os diferentes Membros identificados no aquífero, realçando-se os aspectos mais importantes do ponto de vista hidrogeológico.

Membro de Calvaria

É o Membro que constitui a base da Formação da Figueira da Foz e o que apresenta o conjunto conglomerático mais grosseiro.

Das características da litofácies realçam-se as seguintes:

Conglomerados: corresponde a 58% da espessura, predominando conglomerados em bancadas de granulometria pouco variável;

Arenitos: ocorrem em 34% da espessura, e são caracterizados como arenito médio a grosseiro, frequentemente cascalhento;

Lutitos: mais raros que os anteriores, estão representados apenas em 8% da espessura; surgem em bancadas com uma espessura média de 0,5 m e são caracterizados como lutito maciço, com areia dispersa; os minerais abundantes são hematite e goetite.

Membro de Famalicão

Assenta no Membro anterior, ou directamente em formações do Triásico ou xistos do Soco Hercínico numa pequena área submersa na zona de Aveiro.

É caracterizado por uma granulometria areno-lutítica, bem contrastante com os Membros areno-conglomeráticos que a confinam.

A sua litofácies é caracterizada da seguinte forma:

Arenitos: são a litofácies dominante, correspondendo a 51% da espessura;

Lutitos: também bem representados, correspondem a 39 % da espessura, ocorrendo frequentemente em bancadas de espessura métrica;

Conglomerados: representam apenas 10% da espessura, distribuindo-se por espessuras médias de 0,35 m.

Membro da Salgueira

Aflora numa área considerável na zona Oeste do aquífero, entre as povoações de Albergaria-dos-Doze, Caranguejeira e Ourém.

A base constitui um contacto ravinante com o Membro anterior, bem demarcado pelo aumento súbito da granulometria.

A representatividade de cada uma das litofácies é a seguinte:

Arenito: é a litofácies dominante, representada em cerca de 58% da espessura do Membro; 70% dos arenitos deste Membro caracterizam-se como médios a grosseiros, frequentemente cascalhentos; 24% caracterizam-se como arenito médio a grosseiro, por vezes conglomerático, de matriz arenosa fina e lutítica

Conglomerados: representam cerca de 35% da espessura total; o tipo de litofácies conglomerática que caracteriza este Membro é equivalente à do Membro da Calvaria;

Lutitos: correspondem a menos de 8% da espessura e são caracterizados essencialmente por lutitos maciços, com areia dispersa e abundante hematite e goetite.

Membro de Gondemaria

O limite inferior poderá dar-se por uma transição gradual, ocorrendo interdigitações com o Membro anterior. É sobretudo marcada pelo desaparecimento de corpos conglomeráticos de espessuras decimétrica.

É um Membro com uma forte representação de arenitos ludíticos, identificadores do contacto com o Membro anterior. Ainda que raramente, pode conter níveis delgados de conglomerados.

As litofácies têm a seguinte representação:

Arenitos: surgem em 80% da espessura do Membro, sendo por isso de longe a litofácies melhor representada; caracterizam-se por arenitos médios a grosseiros, frequentemente cascalhentos e arenitos médios a grosseiros, por vezes conglomeráticos, de matriz arenosa fina e lutítica;

Lutitos: surgem em 13% da espessura do Membro; apesar da presença mais representativa ser a de lutitos maciços com areia dispersa e abundante hematite e goethite, ocorrem bancadas com uma espessura média de 1,2 m também de lutitos maciços, porém melhores calibrados que os anteriores, com menor conteúdo em areia e maior em argila;

Conglomerados: representam apenas 7% da espessura deste Membro; as suas características são próximas do Membro anterior, no entanto, têm espessuras mais reduzidas.

Membro de Caldelas

Na área emersa da bacia, a base deste Membro contacta sempre com o Membro de Gondemaria.

Uma das características principais deste Membro é a ausência de conglomerados, sendo representado apenas por arenitos e lutitos.

As presenças relativas das litofácies são as seguintes:

Arenitos: representam cerca de 84% da espessura; são representados por três tipos de litofácies mais ou menos distintas: arenito médio a grosseiro frequente cascalhento, arenito médio a grosseiro, por vezes conglomerático de matriz arenosa fina e lutítica, e arenito médio a fino de aspecto maciço, mal a moderadamente calibrado;

Lutitos: representam cerca de 16% da espessura sendo as suas características semelhantes aos lutitos do Membro da Salgueira.

O contacto entre a Formação da Figueira da Foz e os calcários margosos de Ourém e Batalha é sempre feito por este Membro.

Cretácico – Cenomaniano (Calcários margosos de Ourém e Batalha)

Manupella *et al.* (2000) reclassificam os calcários do Cenomaniano como calcários margosos de Ourém e Batalha. Na área em estudo esta formação coroa as cotas mais altas no Sul do aquífero, aflorando numa área substancial.

Esta unidade encontra-se sobrejacente à anterior, ocorrendo a separação entre as duas formações com um limite diacrónico e sempre que ocorre a passagem do nível silicioso para carbonatado.

Da base para o topo, a formação inicia-se por alternâncias entre calcários margosos e arenitos finos, aumentando a fácies carbonatada para o topo, onde são cada vez mais frequentes camadas de calcários e margas, com intercalações ocasionais de arenitos.

Manupella *et al.* (2000) referem espessuras entre os 10 e os 30 metros para esta formação na área do aquífero. Paralta (1995) refere para a mesma formação espessuras na ordem dos 50 m, nomeadamente na zona do Castelo de Ourém.

Para a determinação da espessura dos Calcários margosos de Ourém e Batalha no aquífero de Ourém (Figura 17), teve-se em consideração a diferença entre o topo da Formação da Figueira da Foz, determinado anteriormente, e o limite com a formação do Miocénico, sobrejacente a esta. Uma vez que se pode considerar este limite como sub-horizontal, para a determinação da sua profundidade consideraram-se as cotas topográficas a que se encontra o contacto.

Apesar de existir informação pontual da espessura desta formação, devido aos declives acentuados nas áreas onde esta aflora, optou-se por não considerá-la. Este facto levaria a que um pequeno erro na georreferenciação destes pontos influenciase de forma errónea o cálculo real da base.

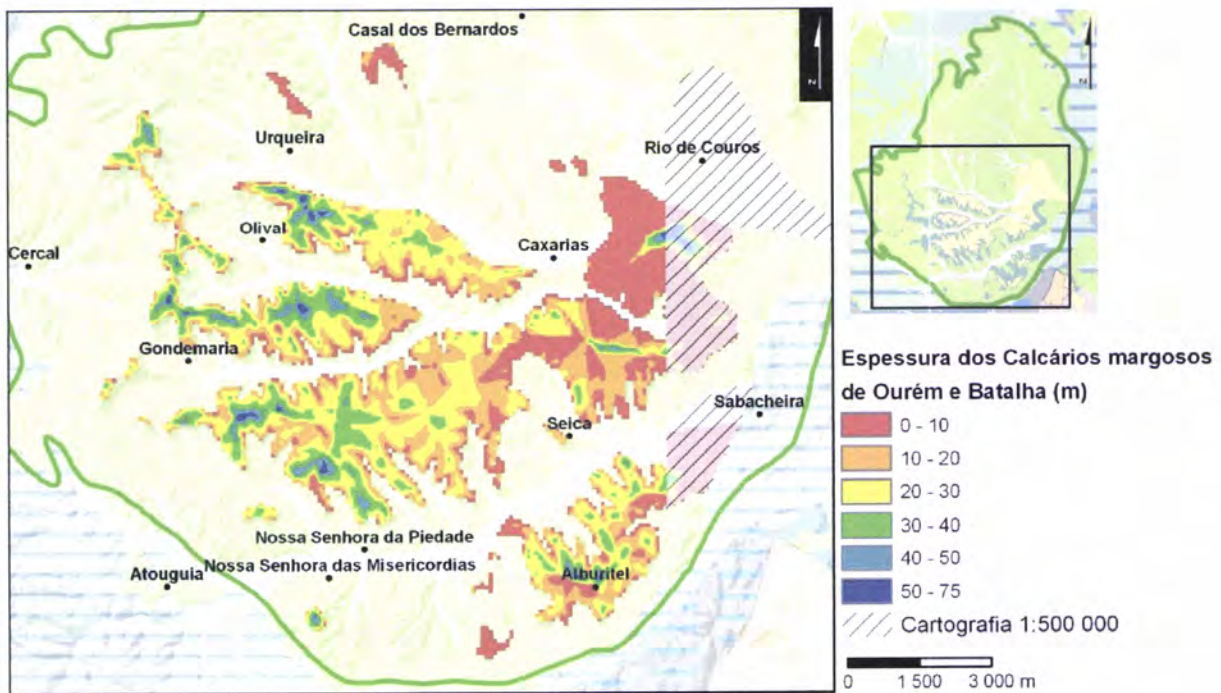


Figura 17: Espessura dos calcários margosos de Ourém e Batalha no aquífero de Ourém

Como se verifica pela figura, as maiores espessuras desta formação estão associadas ao interior das áreas aflorantes. Tal como verificado nos perfis geológicos, constata-se nesta figura a redução da espessura para este.

Miocénico superior (?)

Está representado na área de estudo pelos Arenitos de Alburitel que assentam sobre os calcários descritos anteriormente.

Estão localizados no Sul do aquífero, mais concretamente na parte superior dos cabeços de Chã da Cabeça e dos Sapatos, localizados a NE e N de Urqueira, respectivamente, em Alburitel e Fontainhas e na parte superior de três planaltos com orientação W-E situados entre Urqueira, Olival e Caxarias; Óbidos (marco geodésico), Gondemaria e Tomareis; Gondemaria, Pinheiro e Rio de Couros.

Segundo Manutella *et al.* (2000) correspondem a arenitos grosseiros, no geral bem calibrados e de cor clara. Teixeira e Zbyszewski (1968) referem ainda a existência de arenitos argilosos, finos, brancos, cor-de-rosa ou vermelhos, arenitos caulíniferos brancos, grosseiros, arenitos vacuolares com cimento silicioso, contendo fragmentos de quartzo, de feldspatos, de xistos, etc., de cor branca, avermelhada ou arroxeadada, arenito rijo, não vacuolar, de aspecto resinoso ou vítreo, etc..

A determinação da sua espessura (Figura 18) teve em consideração a diferença entre as cotas a que se encontra o contacto com os calcários margosos de Ourém e Batalha e a topografia do terreno. Nas áreas em que o Pliocénico está presente, considerou-se a profundidade a que se encontra o contacto entre estas formações.

Relativamente à espessura do Miocénico, salienta-se o centro do cabeço situado entre Urqueira, Olival e Caxarias onde a sua espessura poderá ultrapassar os 50 m.

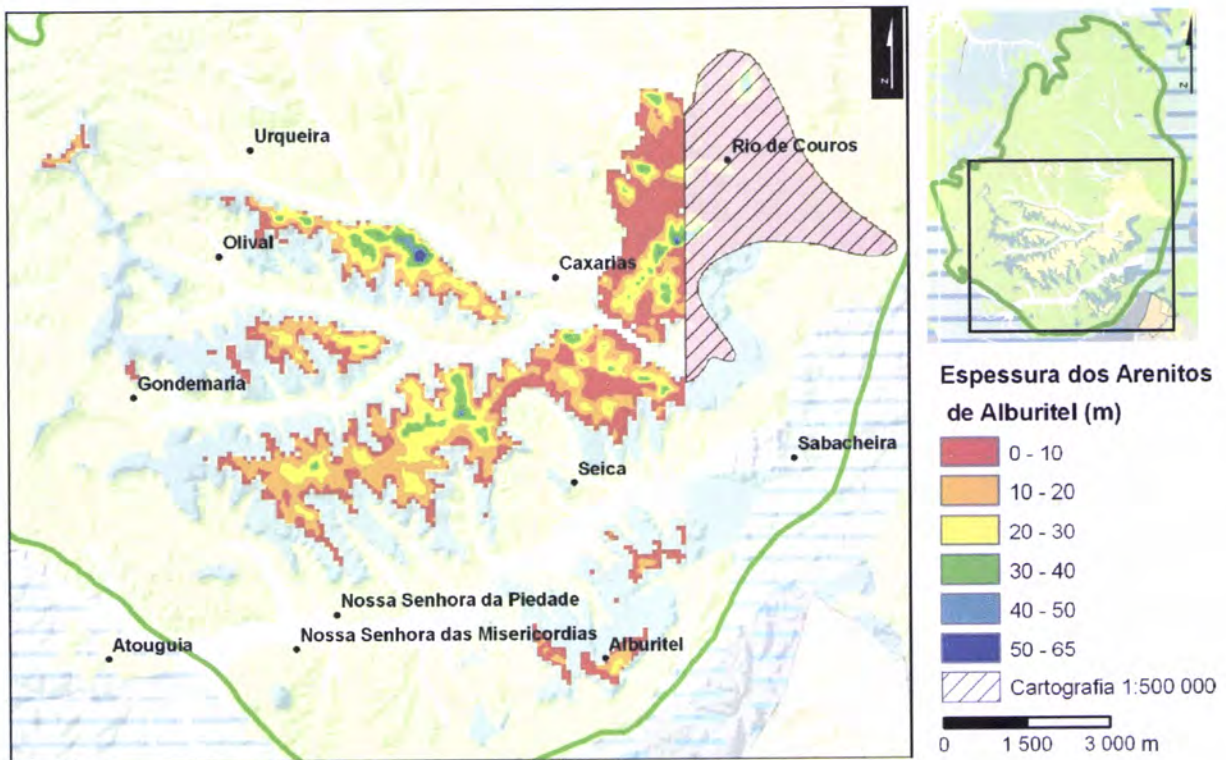


Figura 18: Espessura das formações do Miocénico no aquífero de Ourém

Pliocénico

Os depósitos do Pliocénico estão representados a norte de Caxarias e de Urqueira, sobrepostos aos arenitos do Miocénico.

São constituídos essencialmente por arenitos argilosos, areias, cascalheiras e, numa componente de fácies continental, observa-se a presença de lignitos.

Como se verifica na Figura 12, a sua presença no sistema aquífero é mínima, permitindo concluir que a sua interferência no fluxo do aquífero seja insignificante.

Quaternário

O quaternário está representado nas aluviões das principais linhas de água, com maior expressão nos afluentes do rio Nabão.

Nas sub-bacias hidrográficas que incluem o planalto de Fátima, a sul do aquífero, a natureza dos sedimentos é essencialmente carbonatada, com origem no planalto de Fátima, e siliciclástica, com origem no Cretácico. Nas restantes sub-bacias a origem é apenas siliciclástica.

Refira-se que, pela sua espessura reduzida, na ordem dos metros, e pela pouca informação existente, não se calcularam as profundidades destas formações.

8 ENQUADRAMENTO E CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

8.1 Enquadramento

O aquífero de Ourém integra o conjunto de aquíferos que constituem a Unidade Hidrogeológica da Orla Ocidental, que por sua vez está associada à Bacia Lusitaniana.

Como se referiu no capítulo 7.2, esta bacia esteve sujeita a vários processos transgressivos, regressivos, de compartimentação, sedimentação, compressivos e essencialmente distensivos, associados à abertura do Oceano Atlântico. Estes processos levaram na prática à individualização de sistemas aquíferos na sua área, mais ou menos independentes entre si.

Este facto está patente no enquadramento hidrogeológico do aquífero de Ourém (Figura 19), o qual contacta com dois aquíferos de naturezas distintas. Um deles, o aquífero Pousos–Caranguejeira, constituído também pela Formação da Figueira da Foz, tem um limite comum com cerca de 3 km de extensão à superfície e 75 m de profundidade, de acordo com a Figura 15. A sul, o aquífero de Ourém contacta com o aquífero do Maciço Calcário Estremenho, do tipo carbonatado.

O contacto entre este último e o aquífero em estudo dá-se ao longo do limite sul da Formação da Figueira da Foz. Saliente-se que a transferência de água entre os dois sistemas não é conhecida, no entanto, não deverá ser ignorada para efeitos de modelação.

Os restantes limites do aquífero dão-se com formações geológicas, denominadas hidrogeologicamente como aquíferos indiferenciados, não querendo com isto dizer que não ocorram importantes trocas de água entre estes e o aquífero de Ourém.

Uma vez que, à excepção do aquífero de Pousos-Caranguejeira e do limite NW em que o contacto se dá com a Formação de Vale de Lagares, os limites do aquífero de Ourém contactam essencialmente formações carbonatadas, um estudo aprofundado da fácies hidroquímica permitirá conhecer mais aprofundadamente as transferências de água entre os sistemas.

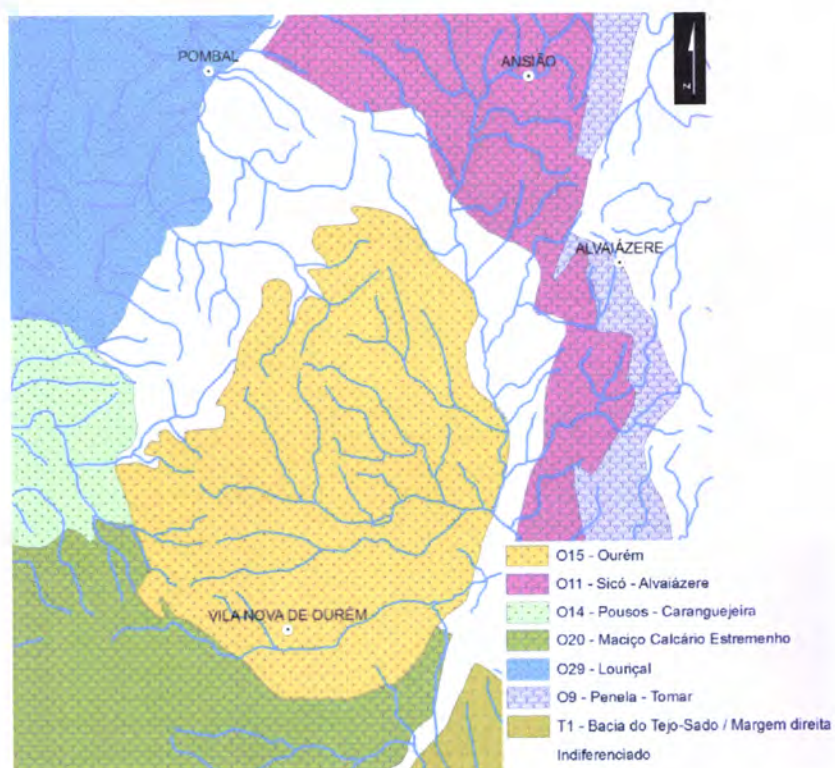


Figura 19: Enquadramento hidrogeológico

8.2 Características gerais do aquífero

O aquífero de Ourém tem uma área de 316 km² correspondendo ao limite da Formação da Figueira da Foz que preenche o sinclinal de Ourém. A excepção é o prolongamento do afloramento desta formação para este onde origina o aquífero de Pousos-Caranguejeira.

O aquífero de Ourém é um aquífero multicamada, predominantemente confinado, ocorrendo em algumas áreas artesianismo repuxante, com caudais naturais superiores a 7 m³/h, nomeadamente na área SE do aquífero.

A recarga dá-se essencialmente por recarga directa da precipitação.

As características de multicamada do aquífero são-lhe conferidas pela ocorrência de Membros de diferentes granulometrias em profundidade que constituem a Formação da Figueira da Foz, descritas no capítulo 7.3.2.

Almeida *et al.* (2000), tendo por base 57 captações, calcula uma mediana de produtividade na ordem dos $16,2 \text{ m}^3/\text{h}$, indicando como valor máximo inventariado $90 \text{ m}^3/\text{h}$.

Paralta (1995) indica uma gama de valores de transmissividade entre os 35 e os $770 \text{ m}^2/\text{dia}$, resultado de quatro ensaios de caudal. Destes, dois tiveram controlo dos níveis em piezómetro resultando do ensaio valores de coeficientes de armazenamento na ordem dos 4×10^{-5} e 8×10^{-5} .

8.3 Condições de fronteira

Na modelação de um aquífero, uma das variáveis mais importantes refere-se às condições de fronteira. Na prática, esta variável vai definir as transferências de água entre o aquífero e os corpos circundantes, podendo estes ser outros aquíferos, formações geológicas, linhas de água ou outras massas de água.

No que respeita à área do aquífero dever-se-á ter em conta a interacção entre este e a formação dos calcários margosos de Ourém e Batalha e entre estes e a formação do Miocénico.

Paralta (1995) considera os calcários margosos de Ourém e Batalha como permeáveis, podendo comportar-se como aquíferos nos locais de maior espessura, no entanto, classifica as formações do Miocénico de permeabilidade média a baixa, variando o seu comportamento entre aquífero e, localmente, aquífero.

Dada a posição destas formações nas cotas mais altas, e uma vez que a formação do Miocénico cobre grande parte da área dos calcários margosos de Ourém e Batalha (Figura 12), poder-se-á considerar para efeitos de modelação que, no conjunto, estas formações contribuem para a diminuição da recarga nas áreas onde afloram. No entanto, dever-se-á admitir a ocorrência de transferências de água entre os calcários margosos e a Formação da Figueira da Foz.

No limite da base do aquífero, onde a Formação da Figueira da Foz contacta com as Formações de Vale de Lagares numa pequena área a NW e com os Calcários de Montejuento

na restante área do aquífero, não se considera a existência de trocas significativas de água. Para este facto contribui a posição sub-horizontal das camadas sedimentares que constituem o aquífero, incluindo bancadas de argila, o que promove fortemente o escoamento horizontal em detrimento de um escoamento ascendente. Acresce o facto que, do levantamento hidroquímico demonstrado em Paralta (1995), a fácies hidroquímica dominante no interior do aquífero não demonstra influência carbonatada.

Tendo ainda por base a dispersão da fácies hidroquímica apresentada no trabalho citado, verifica-se no Sul do aquífero uma influência carbonatada. Esta ocorrência poderá estar associada a três potenciais condições de fronteira: recarga do aquífero de Ourém no leito da linha de água que drena a montante deste formações dos Calcários de Montejunto (Rib^a da Sabacheira), contribuição dos calcários margosos de Ourém e Batalha e/ou uma interface dinâmica entre o aquífero e o Maciço Calcário Estremenho.

É justamente no contacto com este aquífero que subsistem as maiores dúvidas quanto às condições de fronteira.

Para uma primeira análise poder-se-á concluir pela Figura 23, descrita posteriormente, não haver uma influência visível desta fronteira na direcção do fluxo do aquífero. Com a mesma certeza, poderá inferir-se uma relação do mesmo tipo entre o aquífero e as formações do Jurássico hidrogeologicamente indiferenciadas, que confinam lateralmente o aquífero. O aquífero de Pousos-Caranguejeira, pela área de contacto com o aquífero de Ourém, não se deverá constituir como potencial massa de água com interferência significativa na dinâmica do aquífero em estudo.

8.4 Piezometria

A piezometria é a variável por excelência da caracterização hidrodinâmica de um aquífero.

Neste trabalho, tendo por base medições piezométricas, pretende-se conhecer o regime de exploração a que o aquífero está sujeito, assim como a direcção do fluxo regional da água subterrânea.

Para a avaliação do regime de exploração avaliam-se as séries da rede de monitorização de piezometria gerida pelo Instituto da Água e operacionalizada pela ARH Tejo, disponíveis ao público no sistema nacional de informação dos recursos hídricos (INAG).

Os pontos monitorizados nesta rede encontram-se na metade Sul do aquífero, não existindo qualquer controlo da piezometria no Norte do aquífero. É constituída por dez furos, dos quais seis foram construídos exclusivamente para controlo piezométrico.

Dos pontos analisados, quatro são controlados desde Fevereiro de 2001 (298/12, 298/18, 298/28 e 299/80) e os restantes desde Abril de 2003 (298/48, 298/49, 298/50, 298/51, 299/112 e 309/43).

Existem duas lacunas de dados em todas as séries entre Agosto de 2001 e Maio de 2003 e Janeiro de 2004 e Abril de 2005.

A frequência de amostragem é mensal, sendo que nos piezómetros 298/48, 298/50, 298/51, 299/112 e 309/43 a ARH Tejo instalou sondas piezométricas de registo contínuo com medições de 6 em 6 horas.

Na Figura 20 estão representadas as séries originais de monitorização e na Figura 21 as suas localizações. Apresenta-se também a série de precipitação ponderada pelos polígonos de Thiessen para o aquífero (Figura 22) e a respectiva acumulada mensal.

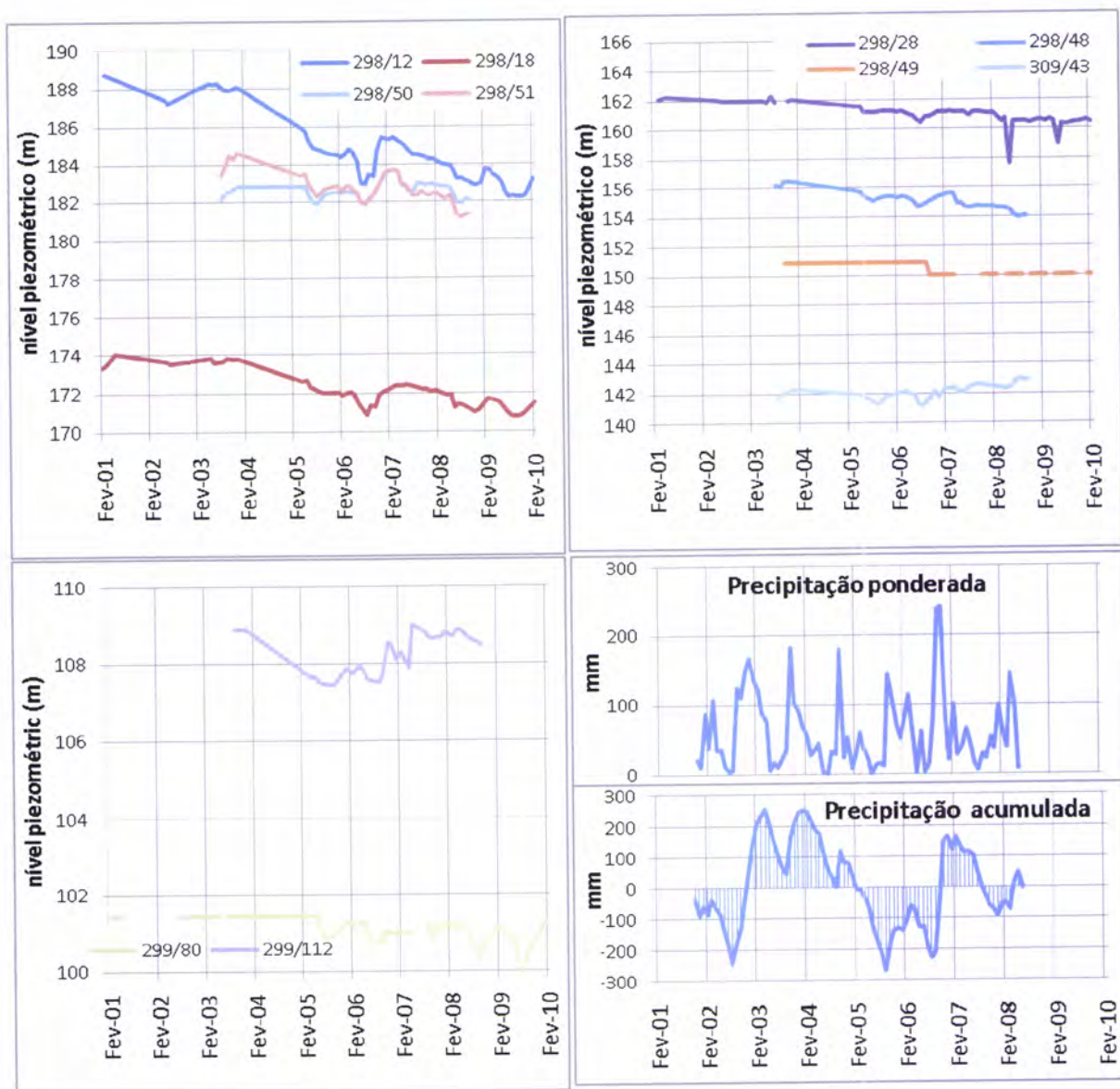


Figura 20: Séries piezométricas monitorizadas nos piezómetros operados pela ARH Tejo (INAG), série de precipitação ponderada e precipitação acumulada respectiva

Análise temporal

Da análise à Figura 20 sobressai em primeiro plano a tendência de descida dos valores de piezometria sobretudo nos pontos com os níveis piezométricos mais elevados, mais próximos da área principal de recarga. Verifica-se também a relação entre as séries de piezometria e a série de precipitação acumulada, sobretudo nos períodos de seca (veja-se o período compreendido entre Setembro de 2004 e Outubro de 2006, considerado pelo Instituto de Meteorologia como a terceira seca mais longa, a mais intensa e mais extensa no território nos últimos 65 anos).

Após o período de seca verifica-se uma recuperação dos níveis no ano 2007, no entanto, mesmo em anos com precipitação média positiva, a tendência é de descida.

A diminuição dos valores de piezometria é comprovada pela aplicação do método de Mann-Kendal às séries originais. Este método robusto, descrito no capítulo 3.1, remove a sazonalidade das séries e avalia o significado estatístico da tendência, atribuindo uma amplitude de variação. O resultado desta análise está representado na Figura 21.

Como se verifica pela figura, a maior parte dos pontos apresenta uma tendência de descida dos níveis piezométricos, variando esta tendência entre os 2 cm/mês no ponto 298/28 e os 7cm/mês no ponto 298/12. Relativamente a este último, esta forte tendência de descida é facilmente visível na série original de dados.

Relativamente ao ponto 299/80, refira-se que a amplitude de variação é seguramente superior a 1 cm/mês, dado pelo cálculo, desconhecendo-se o valor real. Este facto deve-se às medições efectuadas entre Fevereiro de 2001 e Março de 2005 em que o nível era superior à cota da cabeça da captação.

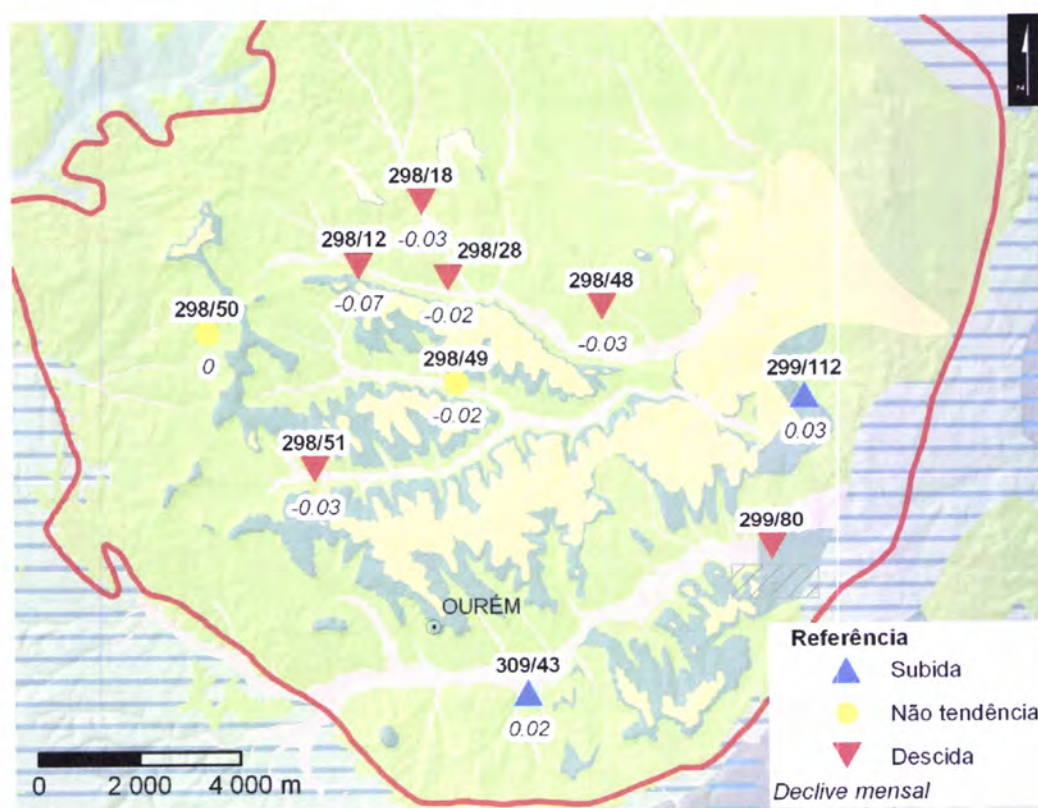


Figura 21: Localização dos piezómetros e tendência temporal das séries piezométricas

Esta clara tendência de descida dos níveis prova que o aquífero tem sido sujeito a um regime de sobreexploração, significando na prática um deficit da recarga face às descargas.

Desta forma, e neste caso concreto, a existência de um regime de sobreexploração assenta em três hipóteses:

- Exploração insustentada do recurso, onde se incluem os volumes drenados por captações com artesianismo repuxante;
- Diminuição da recarga natural do aquífero;
- As duas anteriores em simultâneo.

Para se conhecer a origem desta sobreexploração, analisaram-se as tendências das séries corrigidas de precipitação das estações meteorológicas localizadas nas imediações do aquífero, e da série ponderada para a área do aquífero, no período em questão, pelo mesmo método estatístico. Do resultado desta análise, e tal como era esperado pelo tipo de variável em questão, para o período em análise não há uma tendência significativa de variação dos valores de precipitação.

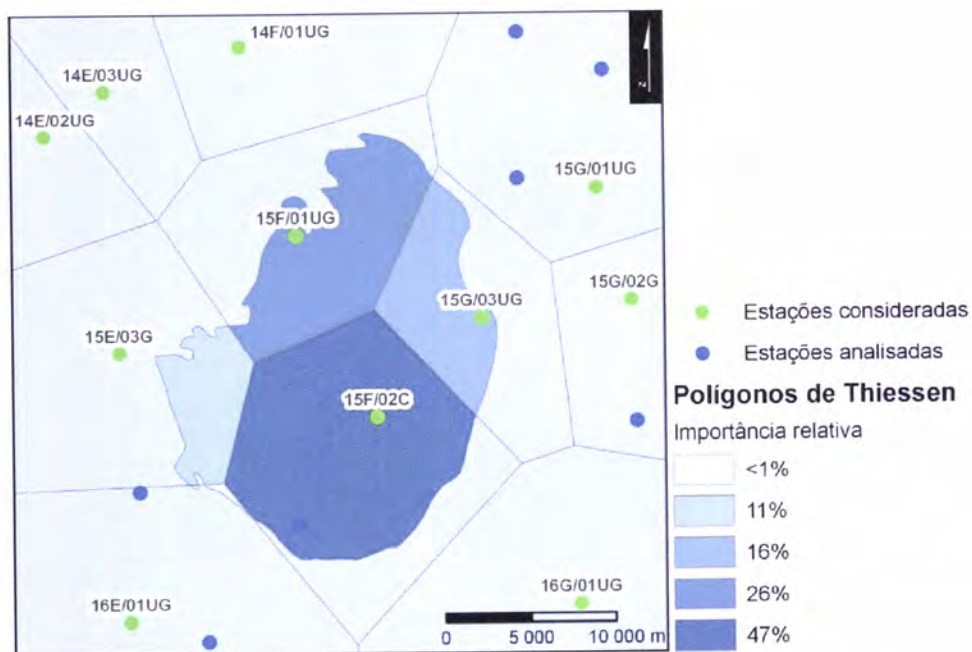


Figura 22: Estações meteorológicas consideradas, polígonos de Thiessen respectivos

Deste modo, a hipótese mais credível para a explicação da variação negativa dos níveis piezométricos refere-se a razões antrópicas.

Por essa razão, cabe aos órgãos administrativos e de gestão de recursos hídricos a adopção de medidas urgentes de forma a garantir a sustentabilidade do recurso.

Análise espacial

No decorrer da caracterização deste aquífero foram realizadas várias campanhas de monitorização no aquífero, numa rede mais abrangente que a operada pela ARH Tejo.

Das várias campanhas realizadas, seleccionou-se para este trabalho a campanha de 28 de Setembro de 2007, por ser a que tem a maior representatividade espacial.

Para a interpretação dos valores aplicou-se o método de Krigagem com análise variográfica aos valores dos níveis piezométricos. A validação entre-cruzada está representada na Figura 23, juntamente com o resultado da interpolação dos níveis, os pontos considerados e as direcções de fluxo preferenciais.

Como se verifica nesta imagem, há uma clara tendência de orientação NW-SE do sentido do fluxo. A variação espacial dos níveis é quase homogénea, resultando da natureza porosa do aquífero, onde as diferenças de potencial são compensadas de forma quase isotrópica.

Outra ilação que se pode retirar da distribuição das isopiezas refere-se à definição da área de recarga, situando-se esta na zona NW do aquífero, e a área preferencial de descarga, a SE.

Este facto não é alheio à distribuição dos Membros da Figueira da Foz, descritos no capítulo 7.3.2. As áreas NW e W estão associadas aos Membros com as litofácies mais grosseiras, mais concretamente ao Membro da Calvaria, o mais grosseiro dos Membros da formação e o Membro da Salgueira, o mais permeável a seguir ao anterior e o mais permeável dos três Membros superiores, representado numa grande extensão geográfica a este (Figura 16).

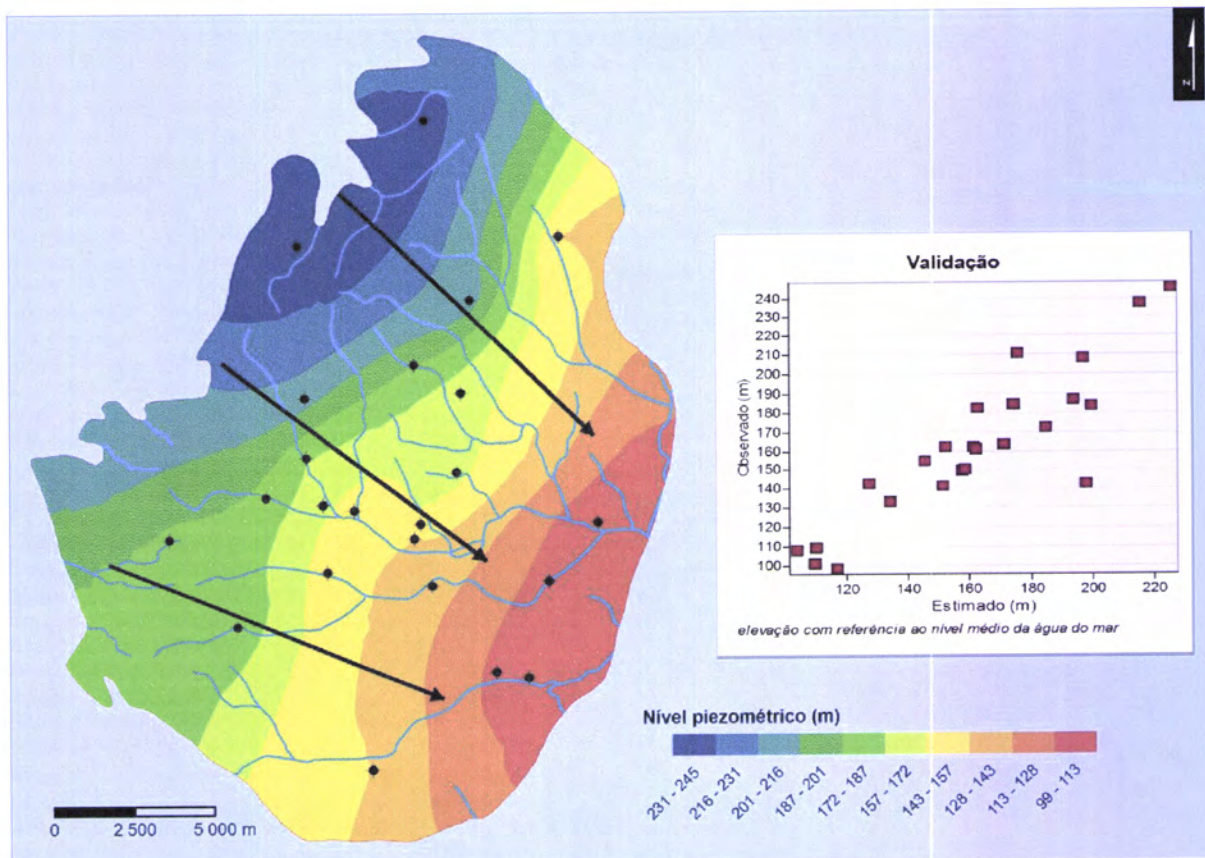


Figura 23: Isopiezas e principais sentidos do fluxo

9 PROPOSTA PARA O MODELO TRIDIMENSIONAL DO AQUÍFERO

Neste capítulo pretende-se sintetizar a informação descrita anteriormente numa primeira aproximação ao modelo de funcionamento do aquífero de Ourém.

Para esta análise foram fundamentais as campanhas de monitorização realizadas no aquífero, as quais permitiram determinar a área de recarga do aquífero, a oeste, e o sentido do fluxo.

Das características geológicas referidas anteriormente salientam-se as seguintes para determinação do modelo conceptual:

O aquífero de Ourém é constituído pelos sedimentos da Formação da Figueira da Foz, que assentam em formações do Jurássico. Esta formação apresenta variações horizontais e em profundidade da litofácies, agrupadas na área do aquífero em 5 Membros que determinam o funcionamento hidráulico do aquífero.

Da análise das características dos diferentes Membros pode-se inferir o seguinte (da base para o topo):

- O Membro de Calvaria, de todos os Membros, é o que apresenta maior potencial como aquífero;
- O Membro de Famalicão, pelas suas características lutíticas, apresenta condições favoráveis para se constituir como aquífero, confinando o Membro anterior;
- O Membro de Salgueira apresenta também potencial para se constituir como um dos Membros principais do aquífero;
- Os Membros de Gondomaria e Caldelas, poderão constituir com o anterior um aquífero com características de aquífero livre, podendo em algumas regiões ser confinado;
- Estes três membros interagem com o Membro de Calvaria através de fenómenos de drenância pelo Membro de Famalicão.
- As diferentes litofácies presentes dentro de cada um dos membros têm inclinação sub-horizontal.

Para efeitos de concepção do modelo, e uma vez que a espessura dos Membros é ainda desconhecida, considerou-se que as suas espessuras dependem directamente da espessura da Formação da Figueira da Foz.

Como se referiu anteriormente não são conhecidos os fenómenos de transferência de água entre o aquífero e as formações Jurássicas adjacentes, no entanto, numa primeira análise poder-se-ão considerar como secundários, uma vez que não é evidente uma influência da proximidade destas formações no sentido de fluxo.

Admitem-se transferências locais de água entre o aquífero de Ourém e a formação dos Calcários margosos de Ourém e Batalha. Contudo, pela sua localização, oposta à área de recarga, e pela reduzida área aflorante, não deverão constituir uma fracção importante do balanço hídrico.

Na Figura 24 propõe-se uma estrutura tridimensional para a subdivisão do aquífero em 5 camadas, mais uma camada correspondente às formações do Jurássico que lhe servem de base.

Às três primeiras camadas correspondem os três Membros superiores da Formação da Figueira da Foz (Membro de Salgueira, Gondomaria e Caldelas), sendo que na primeira camada todas as formações representadas são aflorantes.

Os Arenitos de Alburitel e os calcários de Ourém e Batalha estão representados nas primeira e segunda camadas.

O Membro de Famalicão, que corresponde ao aquífero, está representado em toda a área do aquífero na quarta camada, sendo considerada como camada drenante entre os Membros mais permeáveis.

A drenância na quarta camada tem sentido decrescente na área de recarga e ascendente na área a jusante do fluxo, onde ocorrem fenómenos de artesianismo repuxante.

A quinta camada corresponde ao Membro de Calvaria, o mais produtivo do ponto de vista hidrogeológico. Poder-se-ão assumir menores profundidades desta camada na área NW do aquífero, não sendo de rejeitar o seu afloramento no extremo NW.

Uma vez que se admitem eventuais transferências de água entre o aquífero e as formações do Jurássico, não se devem considerar estas formações como células inativas do modelo, estando representadas por isso em todas as camadas, incluindo numa sexta camada que corresponde à base do aquífero

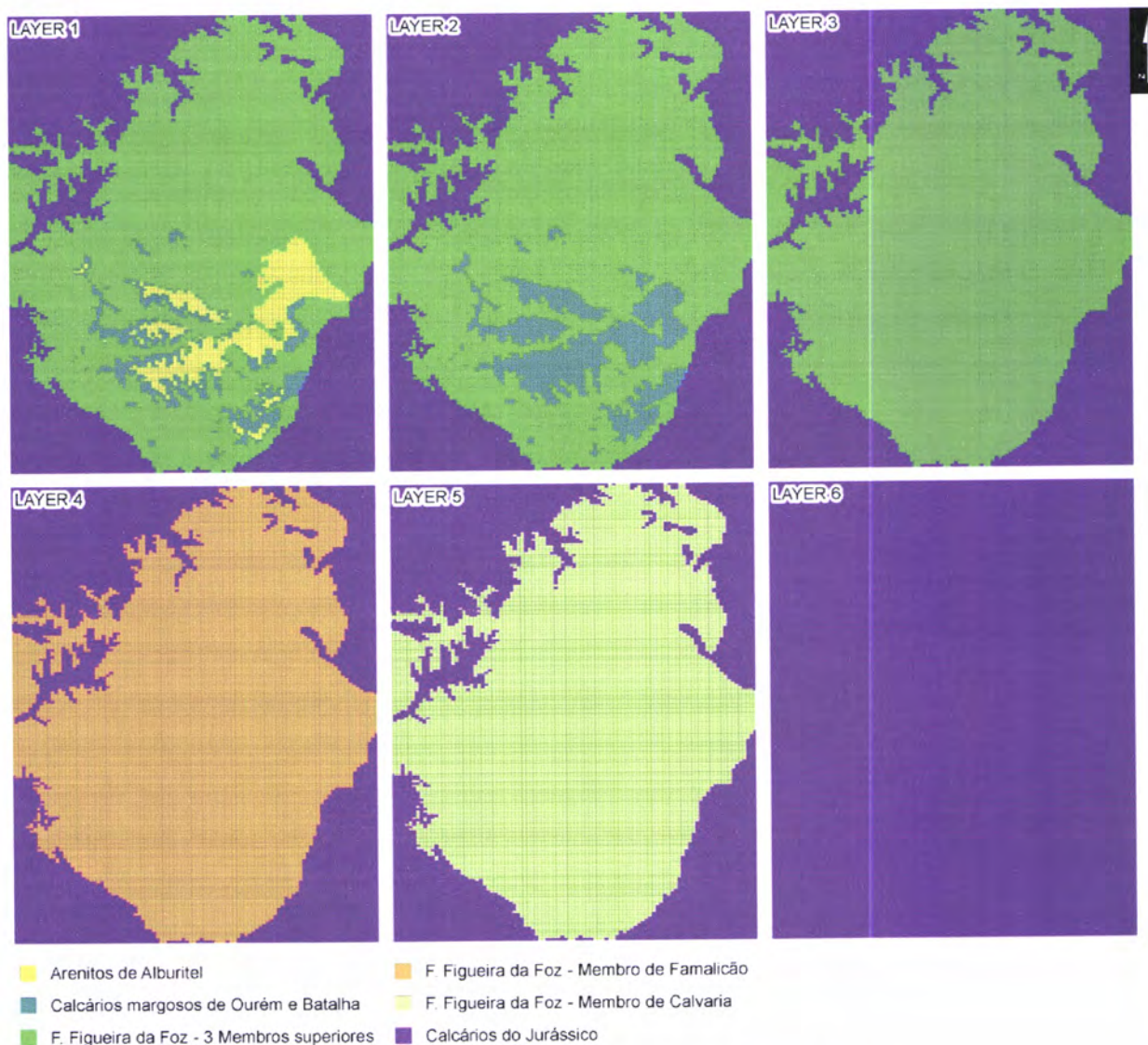


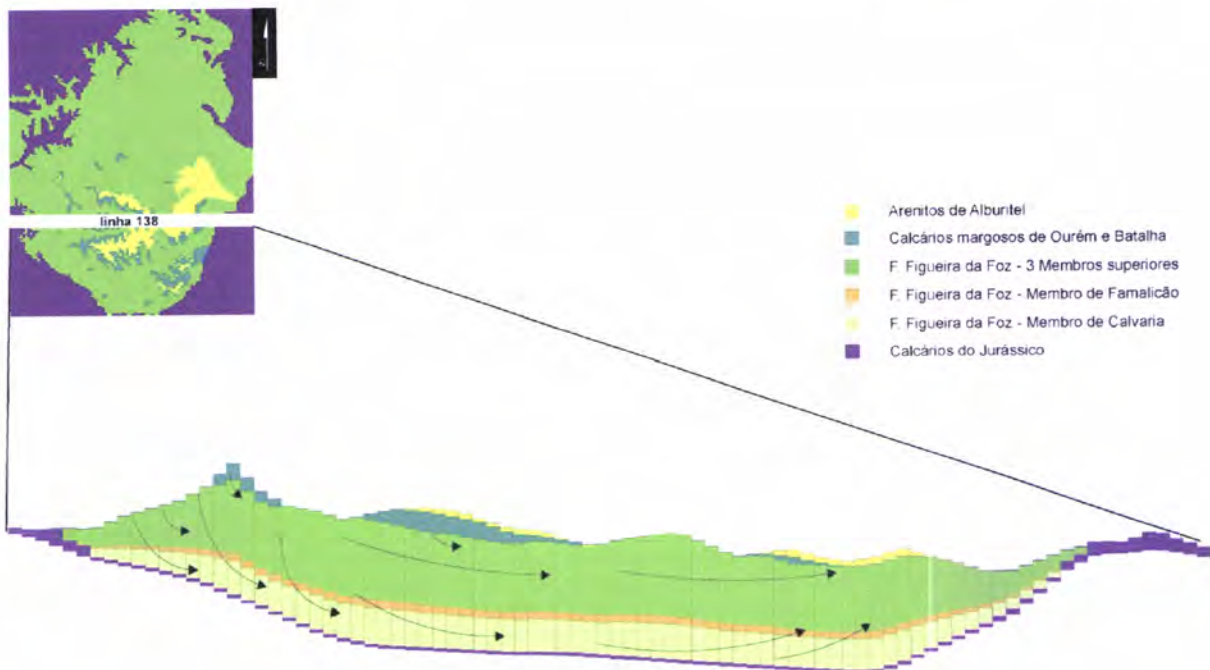
Figura 24: Níveis propostos para o modelo tridimensional

A secção do modelo conceptual representada na Figura 25 permite uma visualização em profundidade destas assunções.

Nesta figura visualiza-se também a proposta para o sentido de fluxo em profundidade. Esta proposta admite que:

- É na área NW do aquífero onde se dá a recarga do Membro de Calvaria;

- Esta área corresponde também à área preferencial de recarga dos três membros superiores, no entanto, continua a existir recarga nestes Membros na restante área do aquífero por infiltração directa da precipitação e das linhas de água;
- Admitem-se transferências de água dos calcários margosos de Ourém e Batalha para o corpo principal do aquífero;
- O fluxo é essencialmente sub-horizontal na maior parte da área.
- A descarga natural dos Membros superiores dá-se no leito das linhas de água e a descarga natural do Membro de Calvaria dá-se por drenância ascendente para os Membros anteriores através do Membro de Famalição.



**Figura 25: Proposta para o modelo conceptual do fluxo de água subterrâneo
(sobreelevação: 10x)**

Após a fase de conceptualização do modelo tridimensional do aquífero é importante uma futura validação e ajuste. Este ajuste deverá em primeiro lugar dar prioridade à determinação das profundidades dos diferentes Membros que constituem a Formação da Figueira da Foz. Dadas as semelhanças entre alguns dos Membros, assim como a variação horizontal do contacto entre eles, esta tarefa torna-se impossível se se analisar apenas

perfis de sondagens de captações de água, uma vez que o objectivo da sua execução não se coaduna com o exame meticoloso necessário.

Foi por essa razão que numa primeira versão simplificada da representação dos Membros se consideraram os três membros superiores conjuntamente. No entanto o Membro de Caldelas poder-se-á constituir localmente como confinante dos Membros de Salgueira e Gondomaria.

Outra questão complexa, mas importante, refere-se à determinação da condutividade hidráulica de cada um dos Membros. Uma vez que esta caracterização é actualmente muito difícil, dever-se-á numa primeira fase considerar a condutividade hidráulica teórica de acordo com as litofácies dos Membros, ajustada por ensaios de caudal, e, posteriormente, determinada pela calibração do modelo de fluxo.

10 CONCLUSÕES

O aquífero de Ourém tem uma grande importância regional, por constituir a principal fonte de água para todas as actividades socioeconómicas na área do aquífero.

A concepção do modelo tridimensional de um aquífero é uma das etapas mais importantes na modelação do fluxo de água subterrânea. É neste processo que se determina a geometria do aquífero, procurando explicar-se as origens e sentido do fluxo.

Neste trabalho propõe-se um modelo conceptual do aquífero tendo por base cartografia geológica, perfis de sondagens e dados de mesostrata, os quais permitiram a determinação da espessura do aquífero, assim como das formações sobrejacentes.

Além do processo de definição do modelo conceptual, abordam-se outras variáveis importantes para o processo de modelação do fluxo que permitiram concluir o seguinte:

- A falta de controlo dos volumes captados, a existência de inúmeras captações não licenciadas e os volumes perdidos por artesianismo repuxante, têm provocado a descida constante dos níveis piezométricos, independentemente dos volumes de precipitação anual, o que na prática significa que a recarga não está a compensar as extracções;
- Uma campanha de monitorização piezométrica permitiu determinar o sentido NW-SE como o sentido regional do fluxo,
- Esta campanha permitiu também determinar que a recarga se dá na área NW do aquífero, coincidente com o afloramento de um Membro da formação da Figueira da Foz de granulometria mais grosseira;
- A aplicação de um modelo hidrológico à principal bacia hidrográfica que drena a área do aquífero, permitiu concluir que é possível a validação do modelo de escoamento subterrâneo em cenário hipotéticos, assim como a sua integração em modelos de gestão integrada;
- As transferências de água ente o aquífero e as formações envolventes ainda é pouco conhecida, no entanto, a ocorrerem, não serão significativas relativamente à recarga por precipitação directa.

11 BIBLIOGRAFIA

Almeida, C., Mendonça, J. J., Jesus, M. R. & Gomes, A. J. (2000). Sistemas aquíferos de Portugal Continental. Lisboa: Instituto da Água (INAG).

Berthou, P.-Y. (1984). Albian-Turonian stage boundaries and subdivisions in the western Portuguese Basin, with special emphasis on the Cenomanian-Turonian boundary in ammonite facies and rudist facies. *Bull. geol. Soc. Denmark* , 41-55.

Caetano, M., Nunes, V. & Nunes, A. (2009). CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico. Lisboa: Instituto Geográfico do Exército.

Callapez, P. (2003). The Cenomanian-Turonian transition in West Central Portugal: ammonites and biostratigraphy. *Ciências da Terra (UNL)* , 15, 53-70.

Chofat, P. (1900). Recueil de monographies stratigraphiques sur le système Crétacique du Portugal. 2ème étude: Le Crétacique au Nord du Tage. Lisboa: Mem. Sec. Trab. Geol.

Crawford, N. H. & Linsley, R. K. (1966). Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Department of Civil Engineering, Stanford University.

Dias, R. & Ribeiro, A. (1995). The Ibero-Armorican Arc: A collision effect against an irregular continent? *Tectonophysics* , 246, 113-128.

Dinis, J. L. (2001). Definição da Formação da Figueira da Foz - Aptiano a Cenomaniano do sector central da margem oeste ibérica. *Comun. ints. Geol. e Mineiro* , 88, 127-160.

Dinis, J. L. & Trincão, P. (1995). Recognition and stratigraphical significance of the Aptian unconformity in the Lusitanian Basin, Portugal. *Cretaceous Research* , 16, 171-186.

Dinis, J. L., Pena dos Reis, R. & Cunha, P. P. (1994). Controls on vertical changes of alluvial system character. The "grés belasianos" unit - Cretaceous of the Lusitanian Basin (Central Portugal). *Cuadernos de Geología Ibérica* , 18, 27-58.

Dinis, J. L., Rey, J., Cunha, P. P. & Pena dos Reis, R. (2008). Stratigraphy and allogenic controls of the western Portugal Cretaceous: an updated synthesis. *Cretaceous Research* , 772-780.

Dinis, J. L. (1991). Sistemas Depositionais na Macrosequência Principal dos Grés Belasianos (Cretácicos) a Leste de Leiria (Portugal Central). Coimbra: Universidade de Coimbra, Museu e Laboratório de Mineralogia e Geologia, nº111.

Dinis, J. L., Rey, J. & Graciansky, P. C. (2002). Le Bassin lusitanien (Portugal) à l'Aptien supérieur-Albien: organisation séquentielle, proposition de corrélations, évolution. *C. R. Geoscience* , 334, 757-764.

Helsel, D. R. & Hirsch, R. M. (1992). Statistical methods in water resources. *Studies in Environmental Science* 49.

Hirsch, R. M. & Slack, J. R. (1984). A nonparametric trend test for seasonal data serial dependence. *Water Resources Research* , 20 nº6, 772-732.

Hirsch, R. M., Slack, J. R. & Smith, R. A. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water resources Research* , 18 I, 107-121.

INAG. (s.d.). Sistema Nacional de Recursos Hídricos. Obtido em 04 de 2010, de <http://snirh.pt/>

Kullberg, J. (2000). Evolução tectónica mesozóica da bacia Lusitaniana. Lisboa: Univ. Nova Lisboa.

Kullberg, J., Rocha, A., Soares, A., Rey, J., Terrinha, P. & Callapez, P. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. *In* R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha & J. Kullberg, *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria* (pp. 317-368). Évora: Univ. Évora.

LNEG. (2010). Mesostrata - Base de Dados de Espessuras de formações Mesozóicas Portuguesas. Obtido em 15 de Mars de 2010, de <http://e-geo.ineti.pt/bds/mesostrata/default.aspx>

Manupella, G., Telles Antunes, M., Costa Almeida, C. A., Azerêdo, A. C., Barbosa, B. & Cardoso, J. L. (2000). Carta geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 27-A (Vila Nova de Ourém). Notícia explicativa. Instituto Geológico e Mineiro.

Manupella, G., Zbyszewski, G. & Veiga Ferreira, O. (1978). Carta geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 23-A (Pombal). Notícia explicativa. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M. T. & Monteiro, J. H. (1992). Carta Geológica de Portugal na Escala 1:500 000. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

Paralta, E. A. (1995). Contribuição para o estudo hidrogeológico da Bacia de Ourém. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Paralta, E. & Lourenço da Silva, M. (1998). Contribuição para o conhecimento da Hidrogeologia da bacia de Ourém. V Congresso Nacional de Geologia, 2, pp. 37-40. Lisboa.

Paralta, E., Ribeiro, L. & Lourenço da Silva, M. (1999). Hidrogeologia da Bacia de Ourém - Aplicação de Estatística Multivariada na Caracterização Hidrogeoquímica do Aquífero Cretácico. IV SILUSBA. Coimbra.

Proença Cunha, P. & Pena dos Reis, R. (1995). Cretaceous sedimentary and tectonic evolution of the northern sector of the Lusitanian Basin (Portugal). *Cretaceous Research*, 16, 155-170.

Rasmussen, E. S., Lomholt, S., Andersen, C. & Vejbaek, O. V. (1998). Aspects of the structural evolution of the Lusitanian Basin in Portugal and the shelf and slope area offshore Portugal. *Tectonophysics*, 300, 199-225.

Ravnas, R., Windelstad, J., Mellere, D., Nottvedt, A., Stühr Sjoblom, T. & Steel, R. J. (1997). A marine Late Jurassic syn-rift succession in the Lusitanian Basin, western Portugal - tectonic significance of stratigraphic signature. *Sediment Geology*, 114, 237-266.

Stapel, G., Cloetingh, S. & Pronk, B. (1996). Quantitative subsidence analysis of the Mesozoic evolution of the Lusitanian basin (western Iberian margin). *Tectonophysics*, 266, 493-507.

Teixeira, T. & Zbyszewski, G. (1968). Carta geológica de Portugal na escala 1:50 000, Folha 23-C (Leiria). Notícia explicativa. Lisboa: Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos.

