



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

**Modelação matemática do escoamento e da poluição do
sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré**

Sector correspondente ao Vale Tifónico de Caldas da Rainha

Maria Catarina Custódio da Paz

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Júri

Presidente: Prof.^a Maria do Rosário Sintra de Almeida Partidário

Orientador: Prof. Luís Filipe Tavares Ribeiro

Vogais: Prof.^a Maria Catarina Rosalino da Silva

Novembro de 2009

Agradecimentos

Ao Professor Luís Ribeiro, pela orientação, disponibilidade e paciência. À ARH do Tejo, pela cooperação e dados disponibilizados, principalmente à Dra. Fátima Alves, ao Dr. Nuno Guerreiro, à Dra. Ana Lopes e ao Eng. José Mira. À Eng. Rute Henriques, dos Serviços Municipalizados das Caldas da Rainha, à Eng. Catarina Canha, dos Serviços Municipalizados de Óbidos, ao Eng. Ricardo Mendes e ao Eng. Tiago Pimpão, dos Serviços Municipalizados da Nazaré, pela sua disponibilidade e cedência de dados. Ao Eng. Paulo Monteiro, da DRAPLVT e ao Eng. Costa Pais da Zona Agrária das Caldas da Rainha, pelas informações prestadas. À Eng. Susana Gustavo da Comunidade Intermunicipal do Oeste, pelas informações e bibliografia cedidas. Ao Eng. João Nascimento, à Doutora Teresa Melo, à Doutora Sofia Costa e ao Eng. Bruno Pontes pela disponibilidade em ajudar na elaboração desta tese. Aos meus colegas, amigos e a todos os que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu marido e aos meus pais, pelo apoio, disponibilidade e carinho indispensáveis.

Resumo

O sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré, em particular o sector correspondente ao Vale Tifónico de Caldas da Rainha, está enquadrado numa região cujas apostas de desenvolvimento passam invariavelmente pelo uso e alteração da qualidade das suas águas. Neste contexto é, então, muito importante conhecer a dinâmica de escoamento deste aquífero. Deste modo, foi construído, com base na sua caracterização física, um modelo conceptual e matemático que permite prever o comportamento deste recurso face a diferentes cenários. A modelação matemática foi levada a cabo usando o programa ASMWIN e permitiu verificar as respostas do aquífero a simulações que traduziam a situação actual sem bombagem, a situação actual com bombagem e dois cenários de previsão, um com aumento de bombagem e outro com injeção de um contaminante num certo ponto do aquífero. A partir da modelação do escoamento foi então possível aferir a importância da dinâmica aquífero/rios, que assume assim um papel preponderante na tomada de decisões sobre o desenvolvimento futuro da região.

Palavras-chave: Aquífero, modelação, escoamento subterrâneo, captação, poluição

Abstract

The Caldas da Rainha – Nazaré aquifer system, namely the corresponding sector to the Tifonic Valley of Caldas da Rainha, is framed in a region which the development goals include the use and alteration of the aquifer's waters. Therefore, in this context, is very important to know the dynamics of groundwater flow in the aquifer. To do that, a conceptual and mathematical model was built based on the physical characteristics of the aquifer, which permits to predict its behavior according to different scenarios. The mathematical modeling was done using the ASMWIN software and it permitted to verify the answers of the aquifer to simulations that translate the actual situation without well extraction, the actual situation with well extraction and two predicting scenarios, one simulating the increase of extraction and other simulating the injection of a contaminant on a certain point of the aquifer. Groundwater modeling made it possible to understand the importance the aquifer/rivers dynamics, which assumes therefore a preponderant role in the plans of future development to the region.

Keywords: Aquifer, modeling, groundwater flow, well, contamination

Índice

I – Introdução.....	1
II - Caracterização do sector em estudo	4
II.1 – Enquadramento geográfico e regional	4
II.2 – Clima.....	7
II.3 – Hidrografia	10
II.4 – Geologia e Hidrogeologia	15
II.5 – Dados de consumo de água.....	19
II.6 – Qualidade da água	22
III – Análise piezométrica	23
IV – Modelação matemática.....	27
IV.1 – Modelo conceptual	27
IV.2 – Modelo matemático.....	31
IV.3 – Simulação sem bombagem.....	38
IV.4 – Simulação com bombagem.....	46
IV.5 – Previsão.....	49
IV.5.1 – Cenário 1	49
IV.5.2 – Cenário 2	52
IV.6 – Discussão de resultados	54
V – Conclusões	56

Índice de Figuras

Fig. 1 – Sistema aquífero de Caldas da Rainha – Nazaré (vales tifónicos de Caldas da Rainha e Nazaré).....	1
Fig. 2 – Divisão Territorial (NUTS III e IV).....	5
Fig. 3 – Localização das estações udométricas seleccionadas para o cálculo da precipitação média no sector.....	9
Fig. 4 – Rede hidrográfica definida no sector em estudo.....	11
Fig. 5 – Localização das estações hidrométricas seleccionadas e existentes no sector em estudo.....	12
Fig. 6 – Caudal médio diário em função do tempo na estação hidrométrica de Óbidos. Fonte: SNIRH.....	13
Fig. 7 – Valores de precipitação mensal em função do tempo, medidos no período de Outubro de 1977 a Abril de 1980, na estação udométrica de Alfeizerão. Fonte: SNIRH.....	14
Fig. 8 – Carta geológica na qual está enquadrado o sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré.....	16
Fig. 9 – Perfil geológico transversal. Fonte: Mira (1999).....	17
Fig. 10 – Mapa de classes de condutividade hidráulica (m/s).....	19
Fig. 11 – Localização das captações pertencentes aos serviços municipalizados (S. M.) de Alcobaca, Óbidos e Caldas da Rainha.....	20
Fig. 12 – Localização das captações pertencentes a particulares.....	21
Fig. 13 – Localização das estações piezométricas seleccionadas e existentes no sector em estudo.....	23
Fig. 14 – Nível piezométrico observado na estação piezométrica 326/36 e precipitação mensal medida na estação udométrica de Alfeizerão, em função do tempo.....	25
Fig. 15 – Mapa isopiezométrico (m) traçado com base nas medições de 05/03/2003.....	26
Fig. 16 – Topo do modelo conceptual em duas dimensões.....	28
Fig. 17 – Base do modelo conceptual em duas dimensões.....	29
Fig. 18 – Esquema do modelo conceptual.....	31
Fig. 19 – Malha do modelo (150 por 150 células) e condições de fronteira.....	32
Fig. 20 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para o topo do aquífero, em relação ao nível médio das águas do mar.....	33
Fig. 21 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para a base do aquífero, em relação ao nível médio das águas do mar.....	34
Fig. 22 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para a piezometria de entrada.....	36
Fig. 23 – Localização dos cursos de água na malha de diferenças finitas.....	37
Fig. 24 – Localização na malha das estações piezométricas de referência.....	39
Fig. 25 – Mapa de condutividades hidráulicas, K	41
Fig. 26 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 2.....	41

Fig. 27 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 22.....	41
Fig. 28 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 32.....	41
Fig. 29 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 39.....	41
Fig. 30 – Recta de calibração relativa à simulação 44.....	43
Fig. 31 – Mapa de isopiezas relativo à simulação 44.....	43
Fig. 32 – Mapa de vectores de fluxo relativo à simulação 44.....	43
Fig. 33 – Recta de calibração relativa à simulação com recarga a 15% da precipitação média anual.....	44
Fig. 34 – Recta de calibração relativa à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.....	45
Fig. 35 – Mapa de isopiezas relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.....	45
Fig. 36 – Mapa de vectores de fluxo relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.....	45
Fig. 37 – Localização dos pontos de extracção na malha.....	47
Fig. 38 – Recta de calibração relativa à simulação do Cenário 0.....	48
Fig. 39 – Mapa de isopiezas relativo ao Cenário 0.....	48
Fig. 40 – Mapa de vectores de fluxo relativo ao Cenário 0.....	48
Fig. 41 – Recta de calibração relativa à simulação do Cenário 1.....	50
Fig. 42 – Mapa de isopiezas relativo ao Cenário 1.....	50
Fig. 43 – Mapa de vectores de fluxo relativo ao Cenário 1.....	50
Fig. 44 – Localização na malha, dos intervenientes na simulação de previsão.....	53
Fig. 45 – Gráfico representativo da concentração em função do tempo, em cada um dos três pontos de observação (para 100 dias).....	54

Anexos

Fig. A1 – Composição de cartas militares enquadrando o aquífero estudado.
Fig. A2 – Variação temporal da piezometria na estação 316/4.
Fig. A3 – Variação temporal da piezometria na estação 316/6.
Fig. A4 – Variação temporal da piezometria na estação 316/118.
Fig. A5 – Variação temporal da piezometria na estação 326/34.
Fig. A6 – Variação temporal da piezometria na estação 338/2.
Fig. A7 – Variação temporal da piezometria na estação 338/31.
Fig. A8 – Evolução temporal da mancha de contaminação (Cenário 2).

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Dados de temperatura média mensal registados no ano de 2007, na estação climatológica da Barragem de Óbidos. Fonte: SNIRH.....	8
Tabela 2 – Valores médios de nível hidrométrico instantâneo e caudal médio diário e outras informações relativas aos dados das estações hidrométricas de Alfeizerão, Tornada, Óbidos e Sobral da Lagoa. Fonte: SNIRH.....	13
Tabela 3 – Caudal médio diário relativo aos meses secos para a estação hidrométrica de Óbidos e precipitação média relativa aos meses secos para a estação udométrica de Alfeizerão.....	14
Tabela 4 – Características das séries de piezometria relativas a cada estação situada sobre o aquífero.	24
Tabela 5 – Valores anteriores à seca 2004/2005 seleccionados por estação.	26
Tabela 6 – Correspondência entre os códigos de denominação usados para cada estação, no modelo, e os níveis piezométricos nelas medidos.....	40
Tabela 7 – Valores de K1, K2 e K3 para cada simulação.	41
Tabela 8 – Valores de caudais extraídos pelas captações consideradas no modelo, para os dois cenários.	46
Tabela 9 – Resumo dos resultados de balanço hídrico para as simulações mais importantes levadas a cabo.	51

Anexos

Tabela A1 – Precipitações médias anuais registadas nas estações udométricas seleccionadas (Período: 1948 - 2007).

Tabela A2 – Precipitação mensal na estação de Alfeizerão, no período de Outubro de 1977 a Junho de 1980.

Tabela A3 – Dados das captações dos S. M. das Caldas da Rainha.

Tabela A4 – Quantidades extraídas, tempos e caudais de extracção das captações dos S. M. das Caldas da Rainha, situadas no sector em estudo.

Tabela A5 – Características das captações dos S. M. de Óbidos.

Tabela A6 – Captações particulares situadas no sector em estudo. Fonte: ARH do Tejo.

Tabela A7 – Profundidade das Margas da Dagorda, para logs litológicos situados na secção em estudo.

Tabela A8 – Níveis piezométricos (N.P.) nas estações de piezometria situadas no sector em estudo.

Tabela A9 – Nível piezométrico na estação 326/36 e precipitação mensal na estação Alfeizerão.

Tabela A10 – Cálculo da profundidade média do nível da água no sector em estudo.

Lista de abreviações

AIC – Análise de Impactes Cumulativos

ARH – Administrações de Região Hidrográfica

ASM – Aquifer Simulation Model

ASMWIN – Aquifer Simulation Model for Windows

DRAPLVT – Delegação Regional de Agricultura e Pescas da Região de Lisboa e Vale do Tejo

NUTS - Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

PENT - Plano Estratégico Nacional de Turismo

S.M. – Serviços Municipalizados

SNIRH – Sistema Nacional de informação de Recursos Hídricos

I – Introdução

O presente trabalho consiste num estudo sobre o sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré, em particular sobre o sector correspondente ao Vale Tifónico das Caldas da Rainha, decorrido no âmbito de dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, durante o segundo semestre do ano lectivo 2008/2009.

O sistema aquífero de Caldas da Rainha – Nazaré (Fig. 1) é constituído por dois aquíferos separados, um dos quais correspondente ao vale tifónico da Nazaré e o outro ao vale tifónico de Caldas da Rainha, este último objecto do presente estudo.

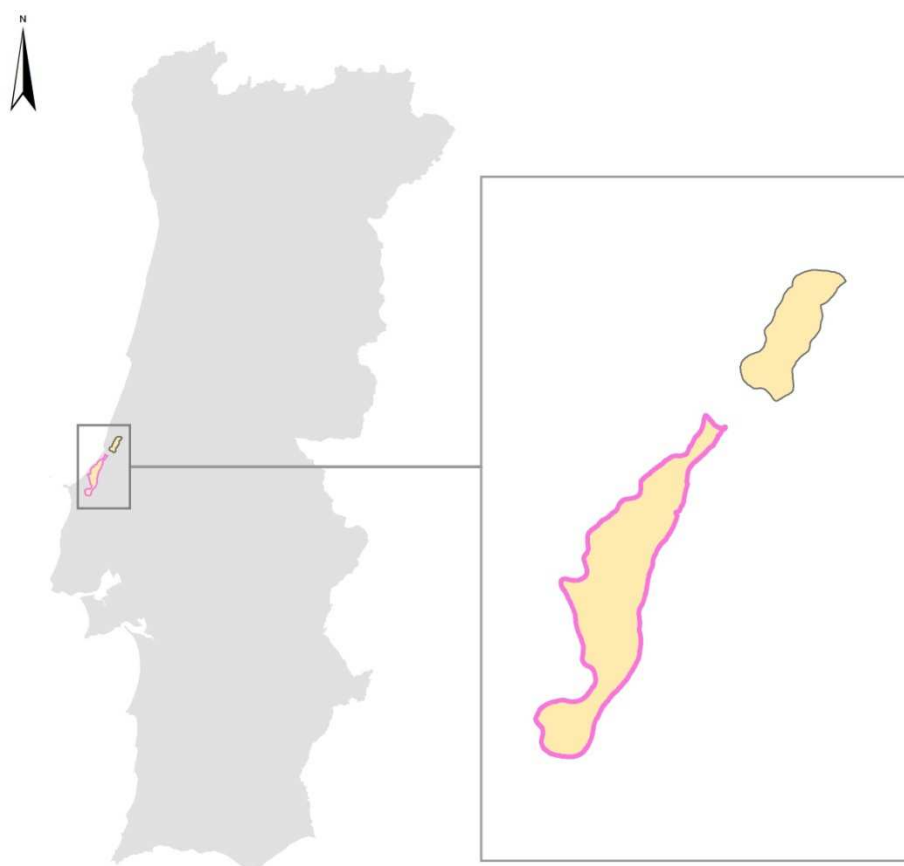


Fig. 1 – Sistema aquífero de Caldas da Rainha – Nazaré (vales tifónicos de Caldas da Rainha e Nazaré).
Nota: O sector em estudo, correspondente ao vale tifónico de Caldas da Rainha, encontra-se delimitado a cor-de-rosa. Sem escala.

O grande objectivo deste trabalho foi a construção de um modelo capaz de traduzir, em termos gerais, o funcionamento do aquífero, e que permita perceber como pode este responder a diferentes tipos de solicitação.

Em particular, pretendeu-se fazer uma caracterização actual do aquífero de modo a poder fazer uma modelação do seu escoamento, e, uma vez construído o modelo, usá-lo como ferramenta de previsão em determinados cenários hipotéticos.

É importante referir que, no entanto, embora este estudo constitua, na sua essência, uma abordagem física e matemática ao funcionamento de um recurso natural, procurou-se sempre trabalhar segundo uma perspectiva de finalidade ambiental.

A metodologia usada para o desenvolvimento deste estudo consistiu no cumprimento dos seguintes requisitos:

- Recolha, síntese e análise de dados e informações relativos ao aquífero e à região na qual se enquadra, de modo a poder construir o modelo nos passos seguintes (descritas nos capítulos II e III);
- Modelação do escoamento no aquífero (construção do modelo conceptual e matemático) (descrita nas secções IV.1 a IV.4);
- Construção de dois cenários de previsão, um simulando um aumento de exploração e outro uma fonte de contaminação permanente (secção IV.5).

Sendo este um sistema localizado numa área de crescente procura de água e de crescentes pressões ambientais devido, em particular, à aposta da região numa agricultura intensiva e especializada, orientada para a distribuição em mercados muito exigentes, e devido também a outras actividades económicas, tal como a pecuária, que, sem manutenção adequada, podem ser prejudiciais para as águas subterrâneas, urge conhecer a fundo toda a dinâmica associada ao sistema aquífero com a qual interage a actividade humana actual. Esta necessidade torna-se ainda mais importante quando temos em conta que o recurso natural em questão ultrapassa fronteiras administrativas, sendo afectado directa ou colateralmente, mesmo que inconscientemente, pelas diferentes estratégias traçadas pelas autarquias e outros órgãos actuantes na região, gerando-se assim impactes cumulativos sobre este.

Uma vez que os impactes cumulativos também não são normalmente coincidentes com limites administrativos ou políticos e podem ser fruto de impactes similares conjugados ou da interacção de diferentes impactes, que se potenciam uns aos outros, importa pois analisar o recurso afectado, segundo a sua aptidão para sustentar impactes adicionais, de acordo com as suas especificidades temporais e espaciais.

Assim, o presente estudo foi desenvolvido segundo uma óptica de AIC (Análise de Impactes Cumulativos), não constituindo objectivamente um estudo de AIC, mas não se inibindo também de constituir, ainda que modestamente, um apoio à AIC sobre o aquífero, já que o modelo construído pode ser encarado como uma ferramenta a utilizar nesse exercício.

Finalmente, segundo Almeida et al. (2000), o sistema aquífero encontrar-se-ia subexplorado no final da década passada, conclusão a que se chegou através de estimativas que assentaram, no que concerne à extracção de água, em dados relativos apenas ao concelho de Caldas da Rainha e Nazaré, não incluindo, por falta de dados, as fracções referentes à indústria e à agricultura, mas ainda assim considerando que se poderiam estimar como similares às do abastecimento público.

Desta vez, embora se pretenda estudar só um dos dois sectores constituintes do sistema aquífero (por sinal, o maior), e ainda que continuem a não existir dados relativos à extracção para indústria e agricultura, foram já incluídos os dados de extracção para abastecimento público do concelho de Óbidos.

II - Caracterização do sector em estudo

Este capítulo assenta na recolha de dados relativos ao aquífero e necessários para a posterior modelação, sendo a caracterização apenas focada no sector correspondente ao Vale Tifónico das Caldas da Rainha, que é de facto o alvo do presente estudo. Para o desenvolvimento do capítulo foi também necessário efectuar pesquisas bibliográficas e consulta de órgãos administrativos locais e regionais.

Refira-se que a principal fornecedora de dados foi a ARH do Tejo, tanto no que toca a dados sobre consumos de água, principalmente privados, como no que toca a dados provenientes das redes de monitorização, através do SNIRH. Outros dados foram fornecidos pelas Câmaras Municipais (Caldas da Rainha e Óbidos). Foram ainda fornecidas informações sobre a economia e agricultura na região, através da Comunidade Intermunicipal do Oeste e da Zona Agrária das Caldas da Rainha, respectivamente.

II.1 – Enquadramento geográfico e regional

A área abrangida pelo aquífero em estudo está representada, cartograficamente, nas Cartas Militares 316, 317, 326 e 338 à escala 1:25 000. Na Fig. A1, em anexo, podemos ver uma composição de várias cartas militares, incluindo estas quatro, com o enquadramento geográfico do aquífero estudado.

Este desenvolve-se ao longo de cinco concelhos: Nazaré, Alcobaça, Caldas da Rainha, Óbidos e Bombarral. Todos pertencem ao distrito de Leiria e os quatro primeiros situam-se junto à costa atlântica.

No quadro da Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) da União Europeia, estes concelhos (Nível IV) pertencem à Região Oeste que é uma região de Nível III (Fig. 2), que por sua vez pertence à região de Nível II do Centro.



Fig. 2 – Divisão Territorial (NUTS III e IV).

Ainda, de acordo com a Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro e do Decreto-Lei n.º 347/2007 de 19 de Outubro, estabeleceram-se as ARH (Administração de Região Hidrográfica), entidades do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, que são instrumentos de gestão dos recursos por região hidrográfica e, por conseguinte, das suas águas subterrâneas. Deste modo, o sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré enquadra-se na ARH do Tejo.

Segundo o Programa Territorial de Desenvolvimento do Oeste (2008), a proximidade e consequente polarização exercida por Lisboa representam vantagens muito fortes para esta região, quer pela vizinhança relativa ao maior mercado nacional de emprego, produtos e serviços, quer pela proximidade à maior porta de entrada e saída do país, com todas as vantagens potenciais associadas tanto à afluência de turistas estrangeiros como ao acesso aos mercados externos.

A qualidade de vida e desenvolvimento esperados para a região têm mesmo vindo a conferir-lhe uma forte atractividade residencial, designadamente para quadros superiores, profissionais liberais e artistas.

Também a consagração ao Plano Estratégico Nacional de Turismo (PENT) como novo pólo de desenvolvimento turístico, passando pela assumida e promissora aposta no golfe, que tem as suas necessidades específicas no que toca ao consumo de água, e as zonas estivais como a Lagoa de Óbidos ou a baía de S. Martinho do Porto, são fortes atractivos da região.

Ainda, uma agricultura desenvolvida, muito exigente e orientada para a exportação, como é o caso da pêra rocha e da maçã de Alcobaça, que constituem marcas registadas, e que tem levado a novas necessidades hídricas, constitui hoje uma forte aposta.

Por outro lado, há que mencionar a já antiga orientação da região para a pecuária, nomeadamente a suinicultura, sendo esta uma das regiões onde estão situadas as maiores instalações e também onde se concentra a maior parte do efectivo (Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas, 2005). Este é um tipo de actividade económica que tem uma grande exigência em termos de tratamento de efluentes mas que, infelizmente, continua a ser responsável pela diminuição da qualidade ambiental da região, especialmente no que toca às linhas de água.

É ainda muito importante referir o Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo (PROT OVT), instrumento que entrou em vigor em Agosto de 2009 e que define as linhas estratégicas de desenvolvimento, de organização e de gestão do território das sub-regiões do Oeste, Lezíria do Tejo e Médio Tejo, enquadrando os investimentos a realizar e servindo de quadro de referência para a elaboração dos planos especiais, intermunicipais e municipais de ordenamento do território, tendo em vista um desenvolvimento sustentável e estratégico.

Em matéria de recursos hídricos, este plano tem como referência a gestão sustentável das águas superficiais e das águas subterrâneas, enquadrada na Lei da Água. O novo modelo estratégico e operacional de planeamento e gestão das águas tem por base a bacia hidrográfica como estrutura territorial, concretizada pela constituição das ARHs, o enquadramento legal referente à utilização de recursos hídricos e o enquadramento legal referente à preservação de zonas vulneráveis, como é o caso da Lagoa de Óbidos.

Assim, «as políticas públicas têm a responsabilidade de:

- a) Promover a utilização sustentável da água, baseada numa protecção a longo prazo dos recursos hídricos disponíveis;
- b) Proteger e melhorar o estado dos ecossistemas aquáticos e terrestres e zonas húmidas directamente dependentes dos ecossistemas aquáticos, no que respeita às suas necessidades de água;

- c) Assegurar às populações o fornecimento em quantidade suficiente de água de origem superficial e subterrânea de boa qualidade, conforme necessário para uma utilização sustentável, equilibrada e equitativa da água;
- d) Concretizar, em tempo útil, as missões que lhe estão cometidas na Lei da Água, atentos os prazos nela fixados, com incidência nos recursos hídricos do Oeste e Vale do Tejo, designadamente nos sistemas aquíferos de água subterrânea e nas sub-bacias hidrográficas da região.» (POT OVT, 2009).

II.2 – Clima

O clima no qual se enquadra o sector em estudo é, no geral, do tipo Mediterrânico (Mira, 1999). Ainda, segundo Silva et al. (1961), o sector em estudo apresenta dois géneros de clima, húmido para a zona norte (Alcobaça) e sub-húmido seco para a zona sul (Caldas da Rainha, Óbidos) sendo apontada uma certa influência da orografia e da geologia. Estas duas zonas são separadas por uma linha que parte do mar, um pouco a Norte de S. Martinho, em direcção a leste (Vimeiro – Santa Catarina). No entanto, há um ressurgimento do condicionalismo típico da zona norte no interior do concelho de Caldas da Rainha. É ainda importante referir que, segundo a classificação de Thornthwaite, a zona norte é do tipo $B_1 B'_2 w a'$, o que significa um clima do tipo húmido, mesotérmico, com deficiência moderada de água no Inverno e concentração térmica estival do tipo marítimo. Quanto à zona sul, o seu clima é do tipo $B_1 B'_2 d a'$, traduzindo-se num clima do tipo húmido, mesotérmico e com concentração térmica estival do tipo marítimo.

A temperatura média anual no ano de 2007, calculada como uma média anual dos dados de temperatura média mensal registados no ano de 2007 (vd. Tabela 1), na estação climatológica/udométrica da Barragem de Óbidos (17C/08C) (vd. localização na Fig. 3) foi de 14.2 °C.

Tabela 1 – Dados de temperatura média mensal registados no ano de 2007, na estação climatológica da Barragem de Óbidos. Fonte: SNIRH.

Mês	Temperatura do ar média mensal (°C)
Janeiro	9.4
Fevereiro	11.4
Março	12.0
Abril	13.7
Maio	14.8
Junho	17.2
Julho	18.5
Agosto	18.8
Setembro	18.8
Outubro	15.8
Novembro	10.6
Dezembro	9.0
Temperatura do ar média anual (°C)	14.2

Para o cálculo da precipitação média anual, foram seleccionadas sete estações udométricas, Alfeizerão, Barragem de Óbidos, Cela, Moledo, Salir de Matos, Sapeiros e Vau (Fig. 3) cujos dados estão disponíveis no site do SNIRH, de onde foram, aliás, retirados. Esta selecção foi efectuada de acordo com a localização geográfica das estações, sendo o critério usado o de proximidade ao aquífero. As séries de medições anuais são apresentadas na Tabela A1 em Anexo.

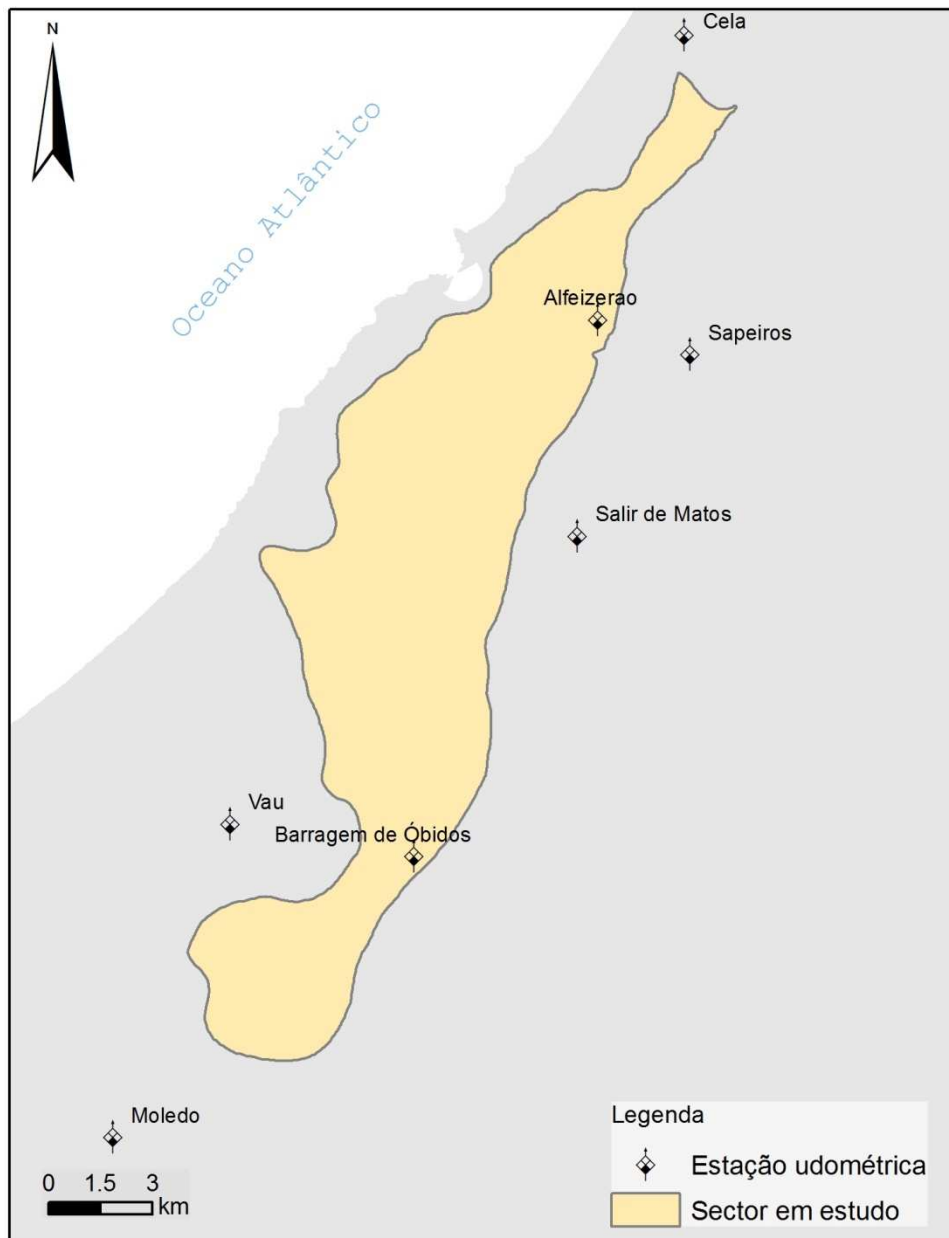


Fig. 3 – Localização das estações udométricas seleccionadas para o cálculo da precipitação média no sector.

O valor foi obtido calculando a média em cada estação, às quais foi também atribuído um peso, de acordo com o número de dados disponíveis. Esse peso foi depois multiplicado pela média, em cada estação, e finalmente somaram-se os valores obtidos, resultando num valor médio ponderado anual para todo o sector. Assim, chegou-se a um valor de 770 mm/ano.

Este valor é superior ao apresentado por Almeida et al. (2000), que era de 650 mm/ano mas que corresponde a todo o sistema aquífero. No entanto, encontra-se no intervalo sugerido pelo “Atlas do Ambiente” e mencionado por Mira (1999) – entre 600 e 800 mm/ano.

II.3 – Hidrografia

A rede hidrográfica que se apresenta no sector em estudo é de pequenas dimensões e de regime torrencial (Henriques, 2005). A bacia hidrográfica na qual se desenvolve é a das Ribeiras do Oeste.

O vale tifónico é então rasgado em três saídas para o mar (Fig. 4):

- A garganta da Ponte da Barca, que o rio Alcoa atravessa, reunindo-se aí a outras ribeiras e valas, e que não se inclui já no enquadramento por nós estudado, mas ainda assim recebendo uma pequena parte do escoamento superficial do vale tifónico de Caldas da Rainha;
- A baía de S. Martinho do Porto, onde, num único leito formado um pouco a montante da foz, desaguam os rios Tornada e Alfeizerão, que recebem da margem direita, nesta última parte do seu curso, as águas de ribeiras vindas das baixas de Famalicão de Nazaré – S. Martinho;
- A passagem de Foz do Arelho, onde a lagoa de Óbidos se liga ao oceano, depois de receber nas suas margens e braços em que se ramifica, as águas do rio Rial (também chamado Real) e do Arnóia e ainda de diversas ribeiras e regatos vindo do Norte, Leste e Sul.

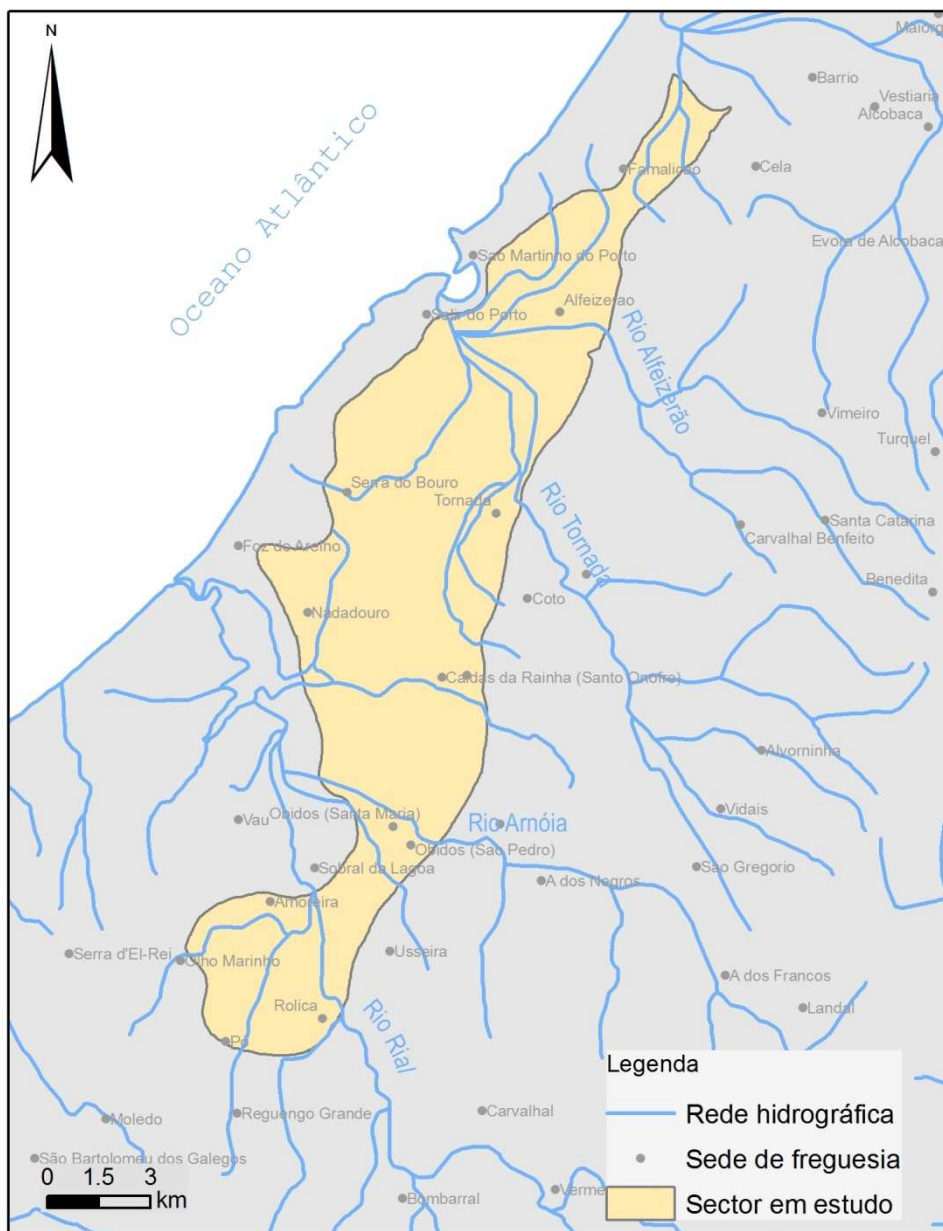


Fig. 4 – Rede hidrográfica definida no sector em estudo.

Devido ao já mencionado clima de características mediterrânicas, a maior parte da precipitação ocorre nos meses de Inverno, havendo, no Verão, uma fraca pluviometria. Assim, no Verão, os caudais dos cursos de água tendem a ser reduzidos, ou até mesmo inexistentes, transportando uma reduzida carga sedimentar, ocorrendo o contrário no Inverno – os rios são mais caudalosos e transportam uma elevada carga sedimentar (Botelho, 2003).

As estações hidrométricas de medição de níveis hidrométricos e caudais foram seleccionadas a partir do site do SNIRH, de acordo com a sua localização na rede hidrográfica e a sua disponibilidade de dados (Fig. 5).

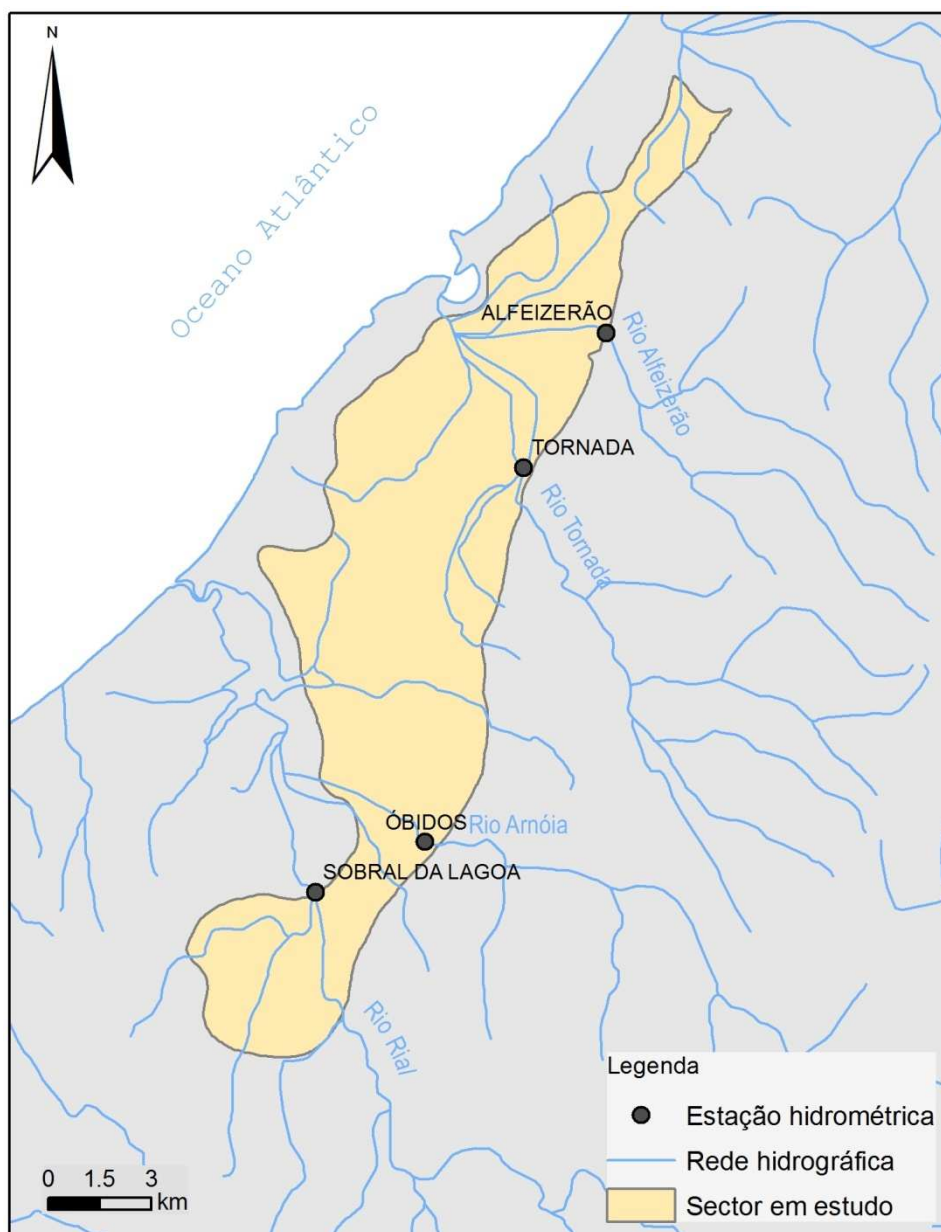


Fig. 5 – Localização das estações hidrométricas seleccionadas e existentes no sector em estudo.

Para os níveis hidrométricos, o tipo de parâmetro seleccionado foi o nível hidrométrico instantâneo, que era o parâmetro medido no maior número de estações possível. Assim, foram analisadas três séries de dados, recolhidos nas estações Alfeizerão (17C/01H), Tornada (17C/02H) e Sobral da Lagoa (17B/01H), que não são mostrados no presente relatório por serem em número muito elevado (da ordem dos milhares). No entanto, são apresentados os rios onde se localizam, os extremos globais dos intervalos temporais de medições (já que as séries temporais sofrem interrupções), a quantidade de dados a elas relativa e a sua média (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios de nível hidrométrico instantâneo e caudal médio diário e outras informações relativas aos dados das estações hidrométricas de Alfeizerão, Tornada, Óbidos e Sobral da Lagoa. Fonte: SNIRH.

Estação	Rio	Início - fim da série	Número de dados	Nível hidrométrico instantâneo médio (m)	Caudal médio diário (m ³ /s)
Alfeizerão	Alfeizerão	14/02/02 - 25/03/09	48787	0.91	-
Tornada	Tornada	14/02/02 - 04/06/08	51743	2.89	-
Óbidos	Arnóia	01/10/77 - 30/09/80	1007	-	1.04
Sobral da Lagoa	Rial	14/02/02 - 04/06/08	50044	0.23	-

É de referir, no entanto, que no Rio Rial foram, principalmente durante 2008, registados níveis hidrométricos instantâneos nulos ou quase nulos, e muitas vezes com valores fora do normal, pelo que se considera a sua média sem expressão alguma e por isso, excluiu-se o referido rio na fase de modelação.

Quanto aos dados de caudal, o parâmetro seleccionado foi o de caudal médio diário, medido na estação de Óbidos (17C/03H), a única com medições de caudal.

Ainda relativamente aos dados de caudal desta estação, desenhou-se o gráfico que traduz a evolução do caudal médio diário em função dos anos passados, entre Outubro de 1977 e Setembro de 1980 (Fig. 6).

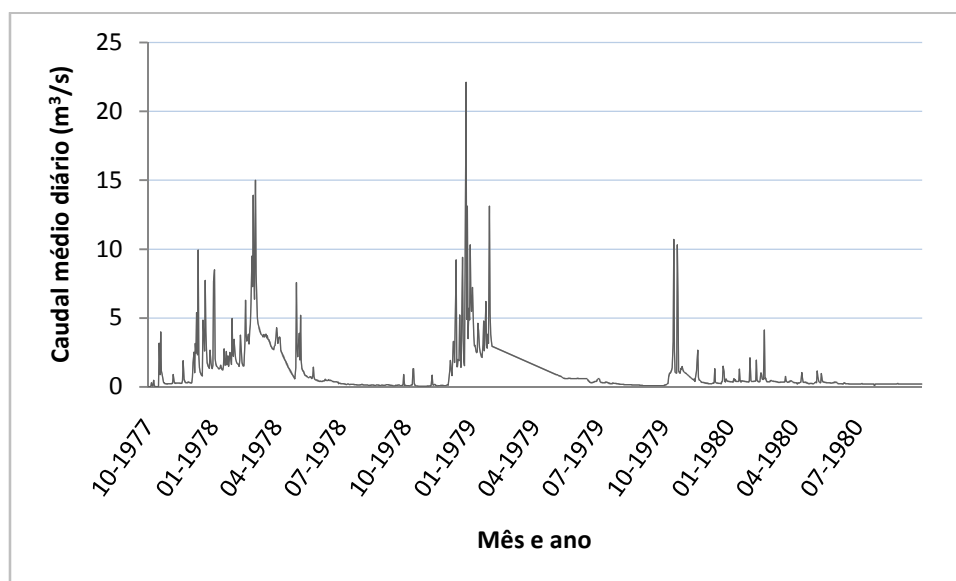


Fig. 6 – Caudal médio diário em função do tempo na estação hidrométrica de Óbidos. Fonte: SNIRH.

De facto, parece notar-se uma tendência de diminuição global de caudal ocorrida durante aqueles anos, embora o pico maior seja por volta de Janeiro de 1979. No entanto, e como esta diminuição pode estar relacionada com a precipitação, traçou-se o gráfico da precipitação média mensal para o mesmo período (Fig. 7), usando para isso uma série de 33 valores relativos à estação udométrica de Alfeizerão (16C/02G) (Tabela A2, em anexo), e tomando

esta variação como válida para todo o aquífero. Podemos então observar que a precipitação média mensal segue a mesma tendência do caudal do rio, o que mostra que ambas estão relacionadas.

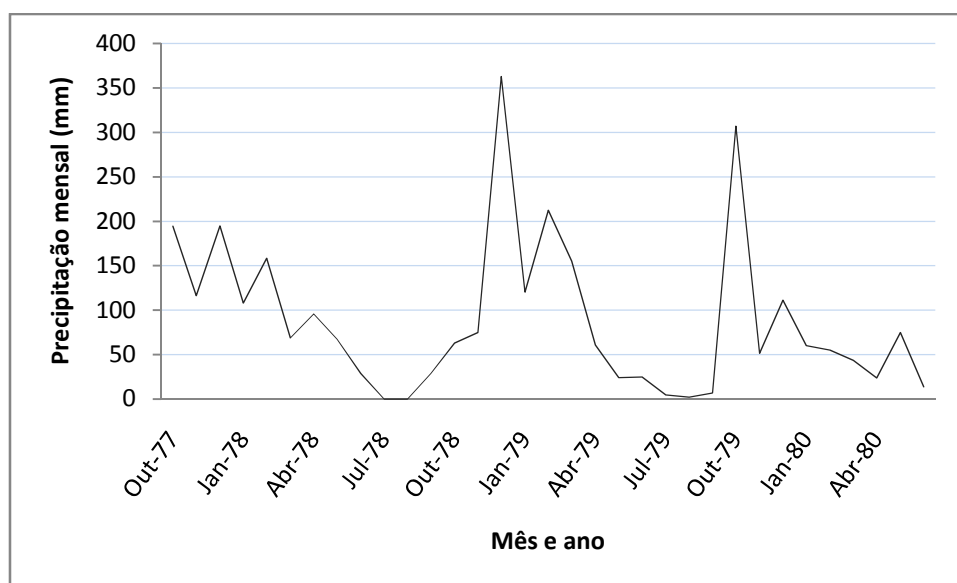


Fig. 7 – Valores de precipitação mensal em função do tempo, medidos no período de Outubro de 1977 a Abril de 1980, na estação udométrica de Alfeizerão. Fonte: SNIRH.

Foram ainda calculados o caudal médio diário relativo aos meses secos (de Maio a Setembro) (Tabela 3), e a sua média final, considerada uma média de caudal para o Verão. Esta foi depois usada na modelação, aquando da calibração do coeficiente de drenância do rio Arnóia (vd. Secção IV.3). Também foi calculada uma média da precipitação mensal para os meses secos (Tabela 3).

Tabela 3 – Caudal médio diário relativo aos meses secos para a estação hidrométrica de Óbidos e precipitação média relativa aos meses secos para a estação udométrica de Alfeizerão.

Ano	Caudal médio nos meses secos (m ³ /s)	Precipitação média nos meses secos (mm)
1978	0.401	24.92
1979	0.334	12.48
1980	0.238	
Média	0.324	18.70

Também aqui podemos notar uma diminuição no caudal do rio, de ano para ano, que acompanha a diminuição de precipitação nesses meses, o mesmo acontecendo com a precipitação média nos meses secos.

II.4 – Geologia e Hidrogeologia

As formações aquíferas do sistema estudado têm idade pliocénica, assentando geralmente sobre o complexo evaporítico hetangiano (Almeida et al., 2000). Fazem, assim, parte de um sistema de estruturas diapíricas, de contorno irregular, disposto segundo uma direcção NNE-SSW (Henriques, 2005) (Fig. 8).

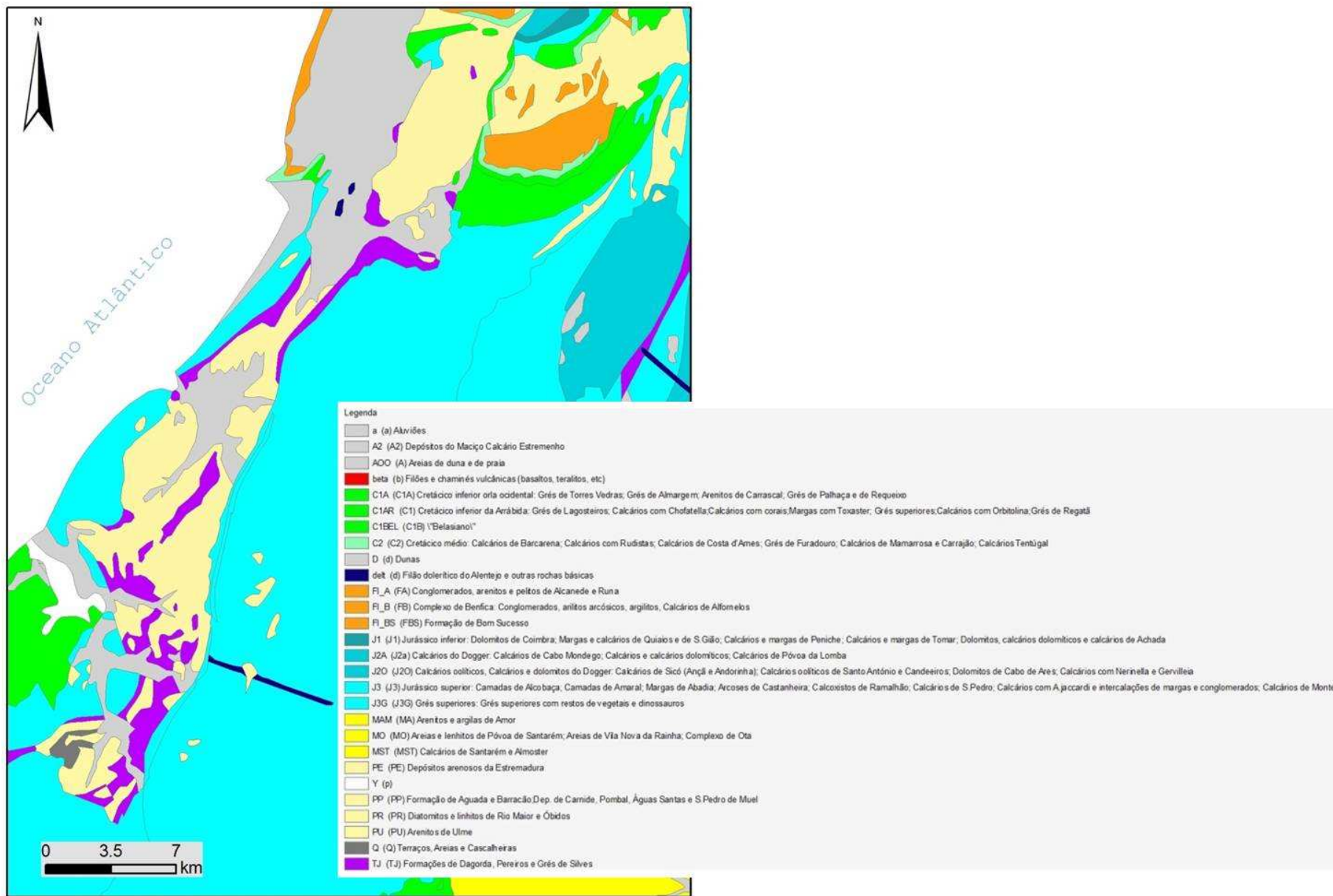


Fig. 8 – Carta geológica na qual está enquadrado o sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré.

Fig. 8
Carta geológica na qual está
enquadrado o sistema aquífero
Caldas da Rainha – Nazaré.

Segundo Almeida et al. (2000), na base está uma formação constituída por areias marinhas fossilíferas do Pliocénico superior, que assentam sobre a Formação de Dagorda e que terá uma espessura que oscila entre os 20 e os 35 m. Seguem-se areias continentais, com leitos de lenhitos e diatomitos, também do Pliocénico superior. Há, por vezes, o aparecimento de seixos e ocasionalmente uma ou mais bancadas delgadas de calcário arenítico e de conglomerados. As formações pliocénicas são cobertas nalgumas áreas por aluviões modernos, sendo de destacar a mancha que se situa entre Alfeizerão e S. Martinho do Porto.

De acordo com Henriques (2005) a formação de estruturas diapíricas começa com actividade diapírica devida à presença de um complexo salífero – as Margas de Dagorda – de idade infraliásica, com comportamento plástico e aflorantes sob uma espessa camada de calcários. Devido à fraca densidade e às fortes pressões a que está sujeito, o complexo salífero facilmente ascende à superfície, empurrando à sua frente as camadas superiores, ao longo de muitos acidentes tectónicos existentes no soco. Como as Margas são mais brandas, quando ascendem à superfície erodem facilmente através dos agentes da geodinâmica externa, constituindo zonas mais baixas. Estas superfícies deprimidas pela acção da tectónica e da erosão e limitadas por flancos abruptos foram então designadas por P. Choffat como “vales tifónicos”. A transformação do diapiro em depressão é posterior à transgressão marinha que ocorreu no final do Pliocénico. A superfície terá sido modelada pelo mar, neste período, onde terá existido uma plataforma litoral contínua e onde se terão depositado sedimentos. Seguidamente terão ocorrido deformações tectónicas, sendo que hoje temos os sedimentos pliocénicos numa posição deprimida no interior da depressão (Fig. 9).

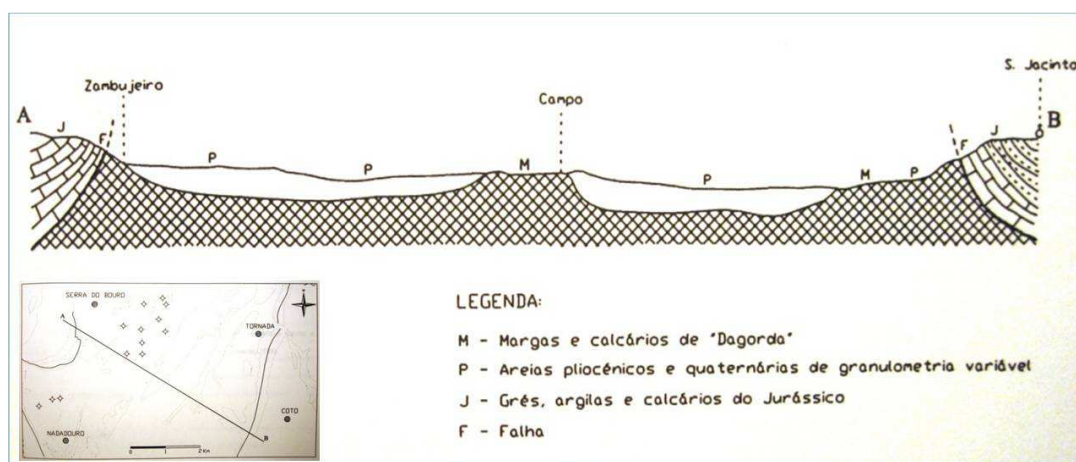


Fig. 9 – Perfil geológico transversal. Fonte: Mira (1999).

Segundo Almeida et al. (2000), devido à complexidade dos processos anteriormente descritos, a geometria dos depósitos que preencheram o vale tifónico de Caldas da Rainha é muito variável e imprevisível. De facto, a presença, ou ausência, de intrusões evaporíticas altera a espessura saturada do sistema e, conseqüentemente, a produtividade das captações aí executadas.

Estatisticamente, em relação aos furos implantados no diapiro analisados por Almeida et al. (2000), foi registada uma espessura média de 70m e máxima de 150m, sendo que alguns não chegam a atingir as margas e outros atravessam as formações pliocénicas completamente, conseguindo atingir as margas. Aliás, a norte da localidade de Alfeizerão encontram-se as espessuras mais elevadas do plio-pleistocénico. Todas estas captações apresentam espessuras superiores a 100m, ultrapassando por vezes os 150m sem atingir as margas da Dagorda.

O aquífero tem um carácter multicamada, livre a confinado e algumas captações, aquando da sua construção, apresentavam níveis piezométricos acima da cota do terreno.

Quanto aos valores de condutividade hidráulica, K , calculou-se uma média geométrica tendo como base os dados cedidos pela ARH do Tejo (Tabela A6, em anexo), para as captações privadas, que é de 3.26×10^{-5} m/s. Também foi construído um mapa da distribuição de K , com base nesses mesmos valores (Fig. 10) e através do qual podemos verificar que existem duas grandes zonas, sendo a zona norte a de maior condutividade hidráulica. Esta observação foi importante para poder construir os primeiros mapas de entrada na calibração do modelo (secção IV.3).

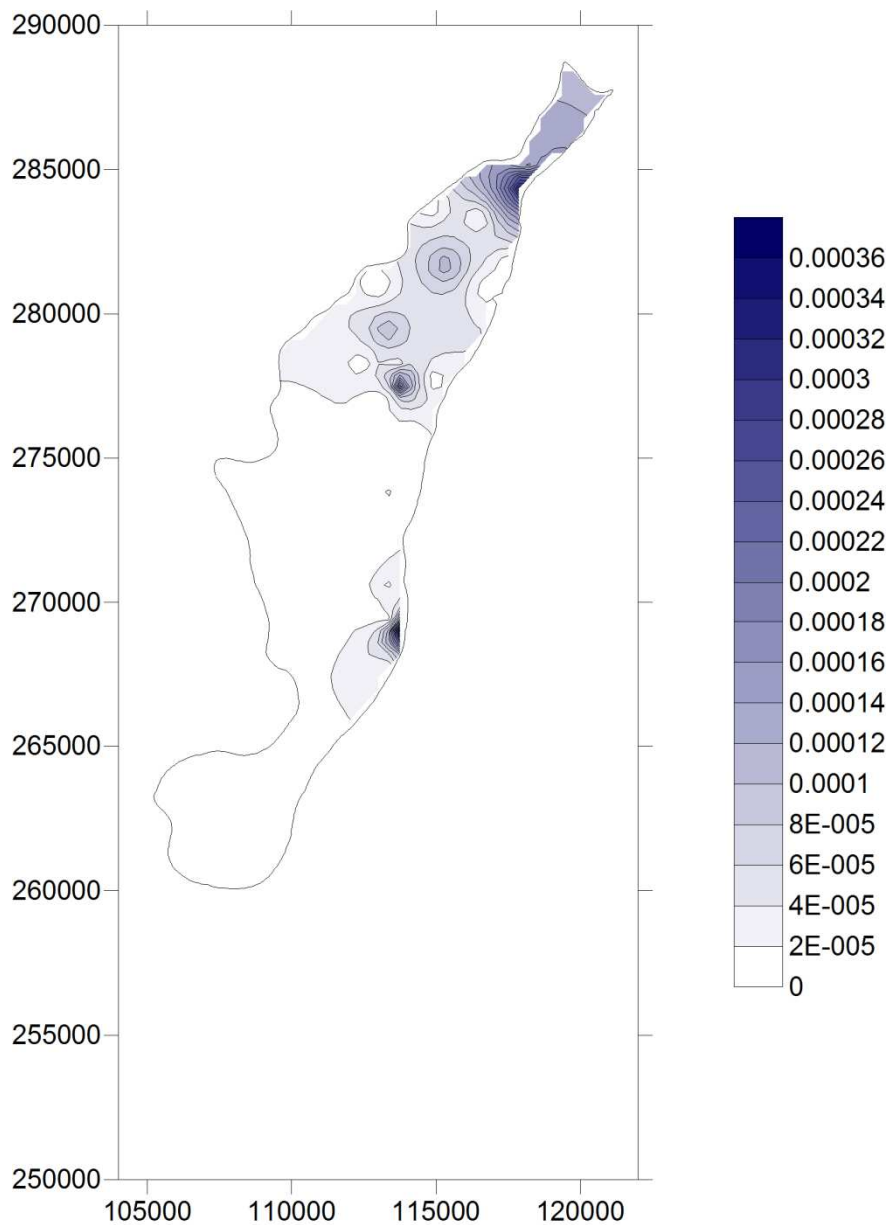


Fig. 10 – Mapa de classes de condutividade hidráulica (m/s).

II.5 – Dados de consumo de água

Nesta secção são apresentados os dados relativos ao consumo de água no sector em estudo, que foram seleccionados e tratados a partir dos dados cedidos pelos serviços municipalizados de Caldas da Rainha e de Óbidos, no caso das captações usadas para abastecimento público e pela ARH do Tejo, no caso das captações pertencentes a particulares.

Os dados relativos aos municípios de Caldas da Rainha e Óbidos podem ser visualizados nas Tabelas A3 a A5, em Anexo. Para o município de Caldas foram seleccionadas 16 captações, de um total de 39, e para o município de Óbidos foram seleccionadas 7 captações, de um total de 10 (Fig. 11).

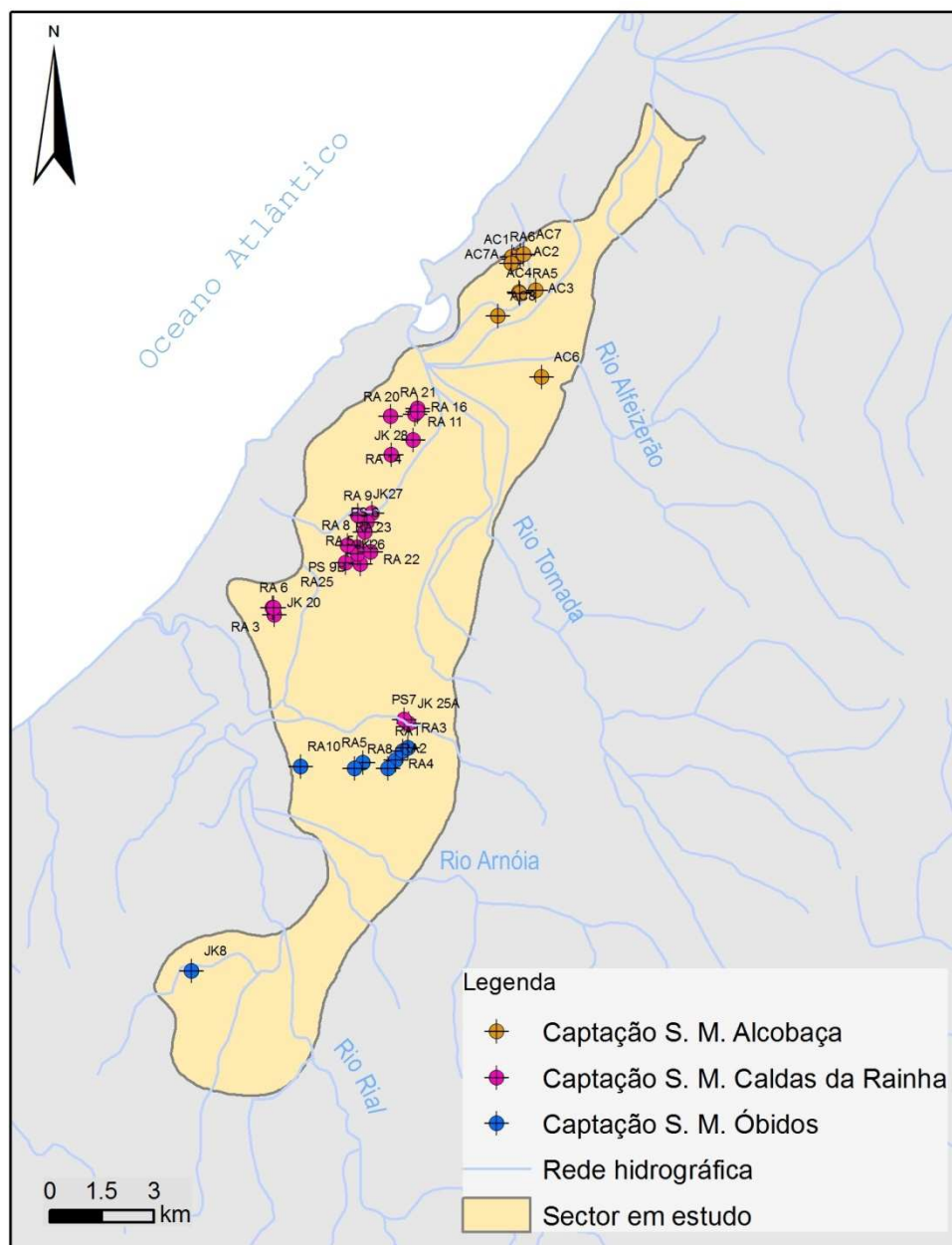


Fig. 11 – Localização das captações pertencentes aos serviços municipalizados (S. M.) de Alcobaça, Óbidos e Caldas da Rainha.

Quanto aos dados cedido pela ARH do Tejo, encontram-se na Tabela A6, em Anexo, os relativos às 65 captações particulares situadas sobre o aquífero (Fig. 12). Estas foram seleccionadas a partir de um total de 1931 captações.

Foram ainda analisados os logs litológicos referentes às captações (inventariadas, não inventariadas e municipais antigas) que os possuíam, e que também estão assinalados na Fig. 12, tendo sido seleccionados 24 de um total de 87 digitalizações, levadas a cabo aquando da recolha de dados. O critério de selecção foi a qualidade do log e o facto de estar sobre o aquífero. Foi depois construída uma tabela a partir da observação desses logs, com os valores da profundidade da Margas da Dagorda em cada captação (Tabela A7, em Anexo). Estes

dados permitiram na fase de construção do modelo conceptual (secção IV.1), definir a base do aquífero.

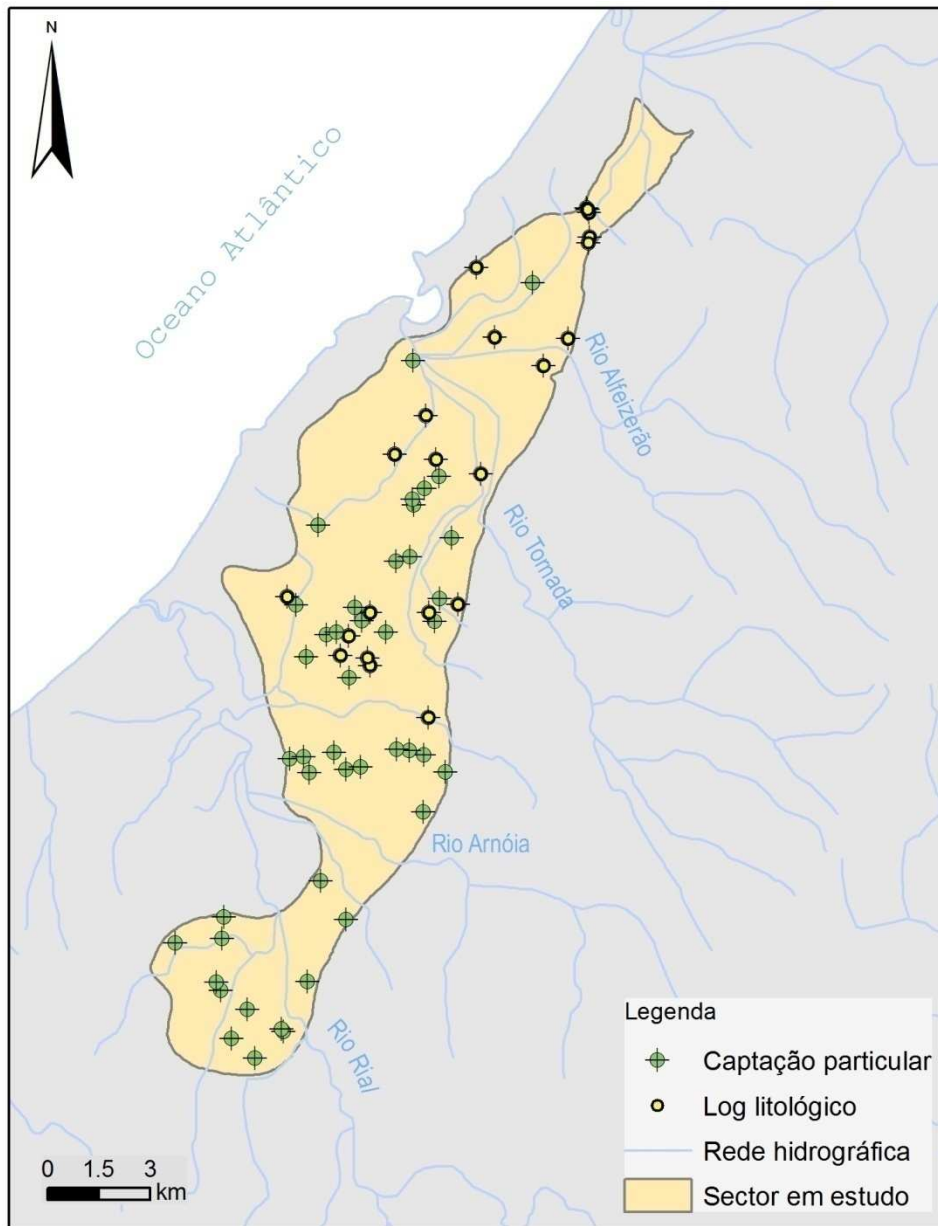


Fig. 12 – Localização das captações pertencentes a particulares.

Nota: Optou-se por não colocar o nome das captações pois tal não é relevante e tornaria a imagem pouco clara.

Note-se que neste último caso só existem dados disponíveis relativos às características das captações, tais como localização, cota topográfica, condutividade hidráulica, logs litológicos, finalidade, entre outros. Esta última é quase sempre apontada como agrícola, embora existam algumas captações executadas com finalidade industrial (muito poucas).

Assim, não há uma ideia dos valores de consumo para finalidade agrícola e industrial. Aliás, com a modernização da agricultura e a aposta nas culturas específicas como a pêra rocha, as

necessidades de água aumentaram muito, chegando os projectos para novas plantações de pomares a ter que garantir um mínimo de 1500 m³/ano, sendo habitual o uso de 2500 a 3000 m³/ano, segundo informação da DRAPLVT (Delegação Regional de Agricultura e Pescas da Região de Lisboa e Vale do Tejo). Almeida et al (2000) sugere que o consumo para agricultura e indústria seria aproximadamente igual ao de abastecimento público mas, mediante os factos agora referidos e também face à nova gestão do abastecimento multimunicipal na região Oeste, nomeadamente através da empresa Águas do Oeste, que abastece os reservatórios municipais com águas vinda de fora da região, funcionando as captações municipais como mero reforço ao abastecimento, não se sabe até que ponto o cenário se terá alterado.

É de referir também que, segundo os relatórios de perímetros de protecção de captações referentes aos municípios na posse da ARH do Tejo, pôde-se aferir que o município de Alcobaça também tem captações a extrair na área do aquífero, tal como se pode ver na Fig. 11, mas não foi possível obter os dados de extracção das mesmas, por falta de resposta daquela autarquia.

II.6 – Qualidade da água

Segundo Almeida et al. (2000), as águas do vale tifónico de Caldas da Rainha foram consideradas, relativamente ao consumo humano, como de média qualidade, de acordo com as análises efectuadas entre 1993 e 1998, correspondentes a amostras obtidas em captações de abastecimento público. Foi verificado que os nitritos, ferro e manganês apresentavam valores médios acima do VMA. Os restantes parâmetros estudados, cloretos, sulfato, nitratos, amónio, fluoreto, fosfatos, oxigénio, cálcio, magnésio e potássio, apresentavam todos valores médios abaixo dos respectivos VMRs, com excepção dos cloretos e do potássio.

Quanto à dureza total, as águas foram consideradas como moderadamente duras.

Relativamente aos coliformes totais, em 118 análises efectuadas, 11 ultrapassavam o valor de zero e duas apresentavam valores positivos relativamente aos coliformes fecais. Ainda, em 16 análises realizadas, quanto aos hidrocarbonetos dissolvidos, 14 apresentavam valores de concentração inferiores ao VMA, com excepção de duas, uma apresentando um valor maior que o VMA e outra um valor igual ao VMA.

Finalmente, quanto à classificação para uso agrícola, a maioria (72,2%) das águas pertence à classe C₂S₁, 16,7% pertence à classe C₃S₁, 5,6% à classe C₃S₂ e 5,6% à classe C₄S₃. Assim, existe o perigo de salinização dos solos médio a muito alto e também o perigo de alcalinização dos solos baixo a médio.

III – Análise piezométrica

A análise piezométrica foi feita com base em séries temporais de valores piezométricos recolhidos no site do SNIRH (Tabela A8, em Anexo) e relativos às estações piezométricas situadas sobre o aquífero (Fig.13), cujas características são mostradas na Tabela 4.

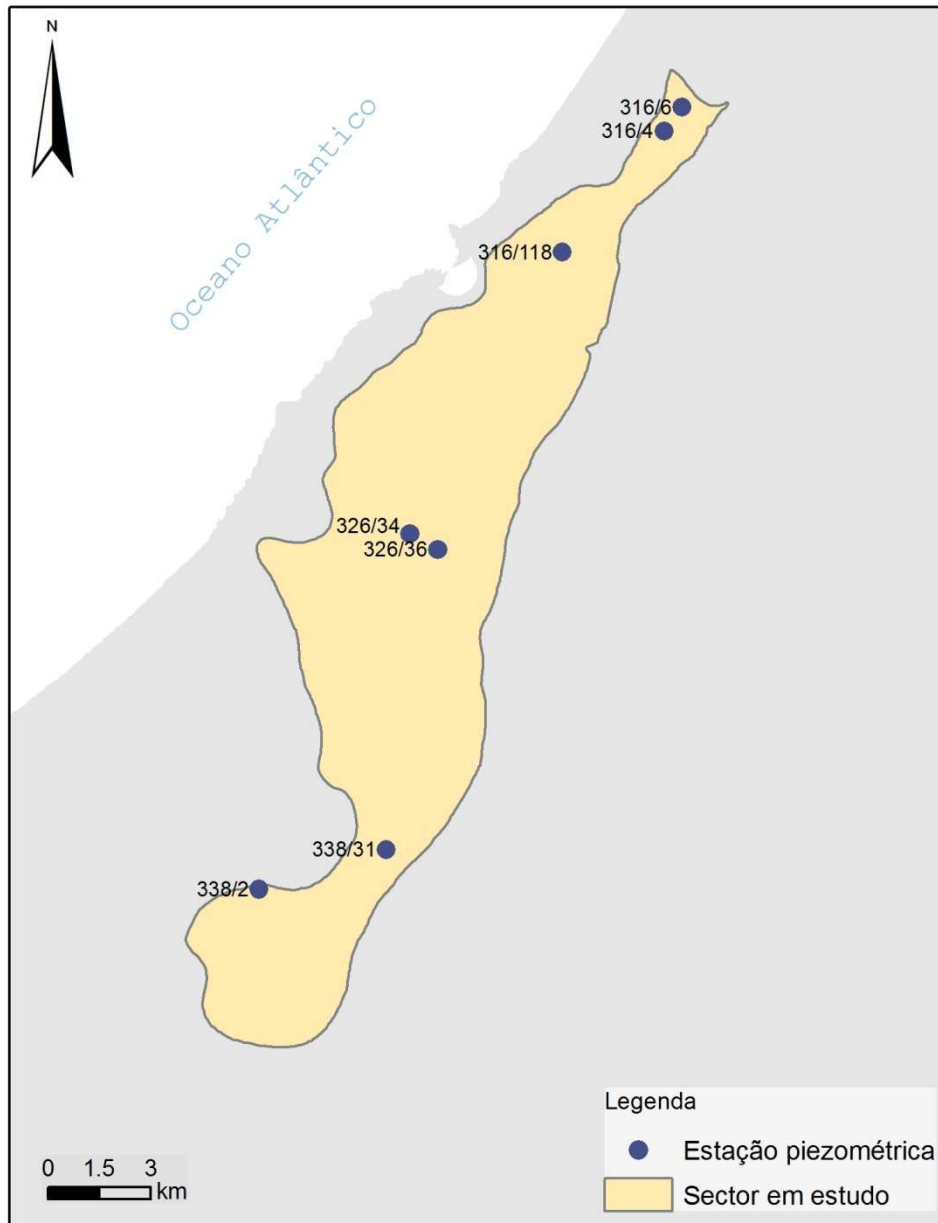


Fig. 13 – Localização das estações piezométricas seleccionadas e existentes no sector em estudo.

Tabela 4 – Características das séries de piezometria relativas a cada estação situada sobre o aquífero.

Estação piezométrica	Início/fim da série	Número de dados
316/4	01/11/00 - 05/03/03	22
316/6	28/11/00 - 02/09/08	82
316/118	01/11/00 - 27/08/04	35
326/34	28/11/00 - 02/09/08	65
326/36	14/03/86 - 02/05/94	100
338/2	23/01/02 - 25/03/09	79
338/31	28/12/00 - 25/03/09	83

O comportamento da piezometria foi então estudado mediante a criação de gráficos relativos às estações com dados posteriores ao ano 2000 e que se encontram nas Fig. A2 a A7 em Anexo. Refira-se que o intervalo de dados correspondente à estação 316/4 teve que ser reduzido até 01/08/1992, uma vez que os dados posteriores (até 28/11/2002) eram provavelmente fruto de um erro de medição – valores negativos discordantes do resto da série. Nestes gráficos observou-se que a piezometria é muito variável no tempo, com máximos e mínimos próximos, sugerindo uma relação com a precipitação. Este facto é ainda mais notável nos períodos entre 2004 e 2005, altura em que, provavelmente devido à seca, a piezometria tornou-se globalmente mais baixa, subindo, no entanto, nos períodos seguintes

Para investigar esta relação, procedeu-se à comparação de duas séries compreendidas entre Março de 1986 e Maio de 1994, uma de piezometria referente à estação 326/36 e outra de precipitação mensal, referente à estação udométrica de Alfeizerão (Fig. 3). Note-se que apenas existiam dados de precipitação mensal coincidentes no tempo com dados de piezometria das estações escolhidas, na estação de Alfeizerão, para aquelas datas. Criou-se então uma tabela que pode ser observada no Tabela A9, em anexo, à qual corresponde o gráfico da Fig. 14.

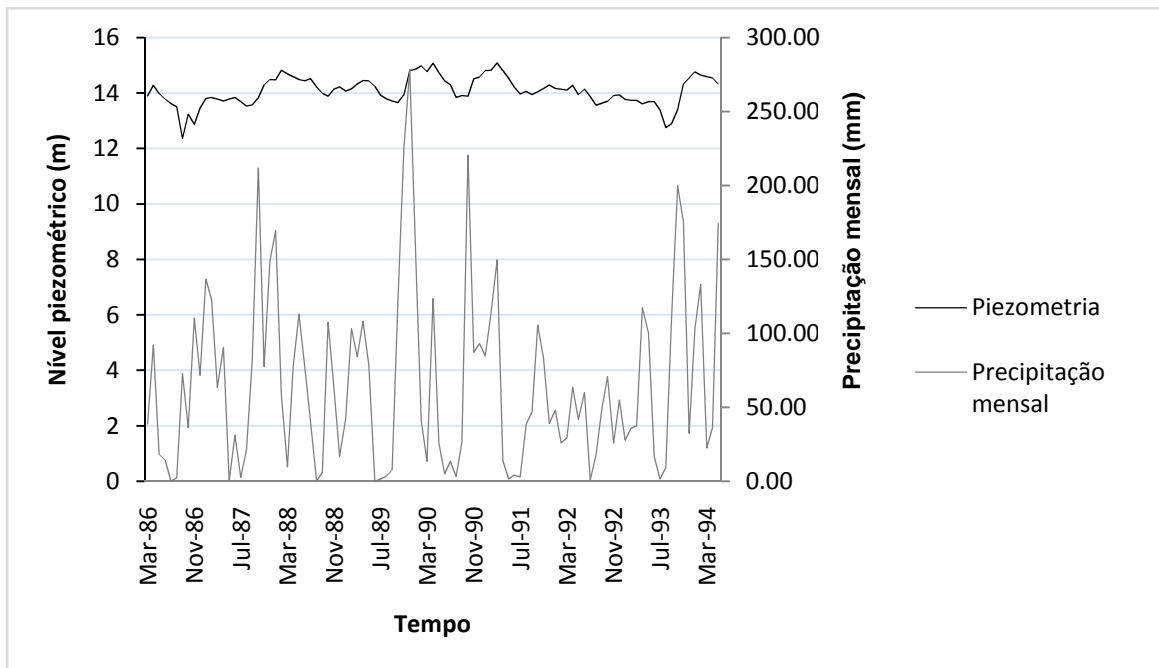


Fig. 14 – Nível piezométrico observado na estação piezométrica 326/36 e precipitação mensal medida na estação udométrica de Alfeizerão, em função do tempo.

Observando o gráfico, verificamos que os máximos de precipitação são seguidos de máximos de piezometria, assim como os mínimos de precipitação são seguidos de mínimos de piezometria, como que em leve desfasamento. Admitindo que o aquífero seria livre, a recarga da chuva, correspondente aos picos de precipitação, levaria a que houvesse um pico de piezometria no período seguinte, sendo a mesma justificação aplicada aos mínimos. Sendo precisamente isso que o gráfico sugere, considerou-se então o aquífero do tipo livre.

Para, posteriormente, calibrar o modelo na fase de modelação, através da comparação dos resultados de piezometria obtidos com os medidos, seleccionou-se um valor relativo a um momento comum a todas as estações, pelo que não foi possível incluir a estação 326/36, já que os seus dados mais recentes remontam a meados dos anos 90, enquanto que todas as outras apresentam dados posteriores a 2000, como já foi visto. Para seleccionar esse momento, e atendendo ao facto visto anteriormente de que no aquífero há uma relação estreita entre a piezometria e a precipitação, teve-se em atenção o período de seca 2004/2005, pois a modelação ocorreu considerando um cenário de precipitação média normal e não uma ocasião especial como foi o acontecimento da seca. Assim, foi escolhido um momento anterior à seca, correspondente ao dia 05/03/2003 (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores anteriores à seca 2004/2005 seleccionados por estação.

Estação	Nível piezométrico em 05/03/2003 (m)
316/4	4.99
316/6	6.87
316/118	9.22
326/34	33.00
338/2	20.12
338/31	25.33

Construiu-se ainda, para melhor visualização, o mapa de isopiezometria correspondente, que pode ser visto na Fig. 15.

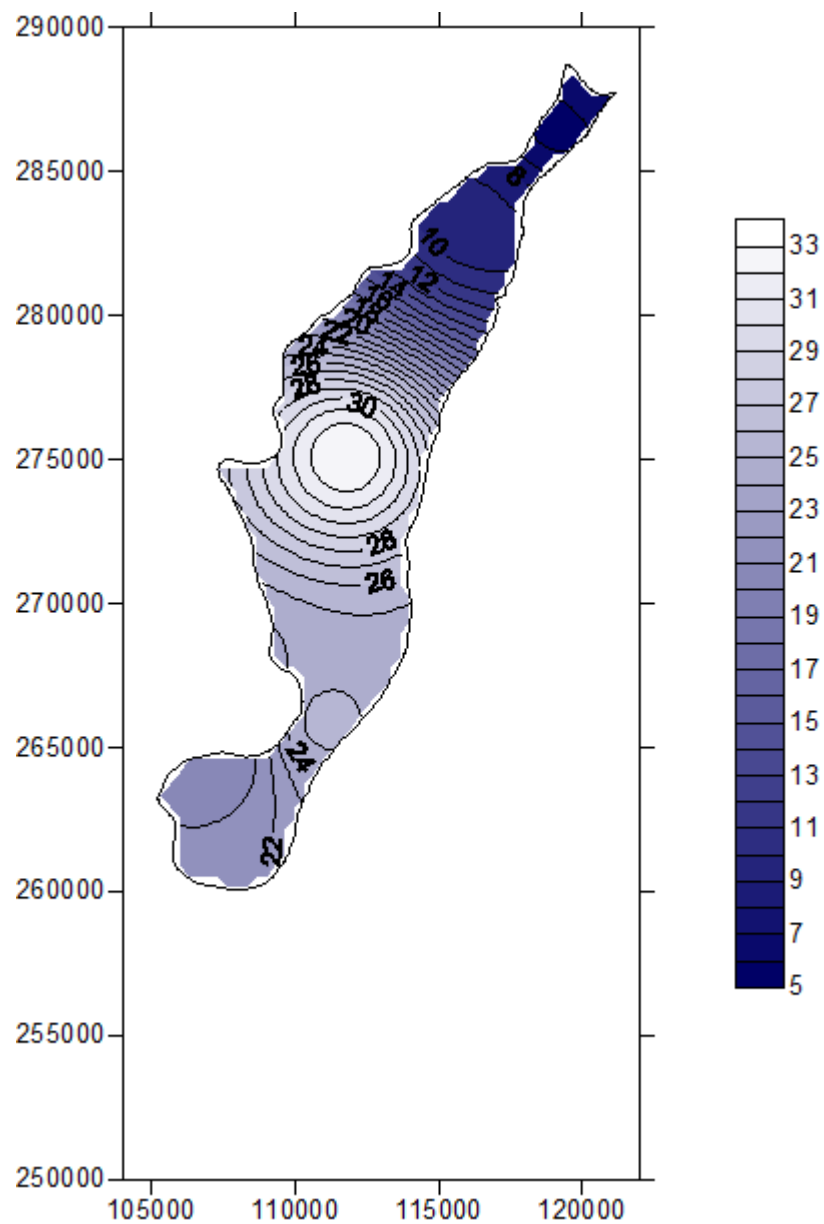


Fig. 15 – Mapa isopiezométrico (m) traçado com base nas medições de 05/03/2003.

IV – Modelação matemática

A modelação passa por definir primeiro o modelo conceptual que é uma simplificação da realidade e que ajuda a entender melhor o funcionamento do sistema. Seguidamente, a partir dessa simplificação, é desenhado o modelo matemático, recorrendo a um programa de modelação específico e que permitirá posteriormente simular solicitações e obter as respostas do sistema a essas solicitações.

IV.1 – Modelo conceptual

A análise do sector em estudo, enquadrado no sistema aquífero Caldas da Rainha – Nazaré, passa, no presente trabalho, pelo desenvolvimento de um modelo conceptual, o qual permitirá, na próxima secção, a modelação matemática do escoamento através do aquífero. A geometria e formulação do modelo conceptual assentam na forma e na dinâmica do sistema hidrogeológico descrito previamente.

De modo a simplificar o nosso estudo, e ainda que Almeida et al. (2000) classifiquem o aquífero como multicamada e livre a confinado, foi estabelecido um modelo com uma só camada, correspondente às formações plio-pleistocénicas que assentam sobre as Margas da Dagorda (secção II.4) e do tipo não confinado, já que se verificou, na secção III, a relação estreita entre o seu nível piezométrico e a udometria no sector em estudo.

Finalmente, e embora Lencastre e Franco (1992) sugiram para o tipo de formações em questão (areias, aluviões e cascalheiras), uma porosidade efectiva de 35%, foi considerado, em vez disso, um valor de 20% para todo o modelo, uma vez que, em algumas zonas do sector em estudo, se conhecem captações com pelo menos um nível de argilas ou areias finas com lenhitos, com espessuras por vezes consideráveis, a variar entre os 0.5m e os 14.5m, e com continuidade lateral significativa (Almeida et al., 2000), o que diminuirá a porosidade do aquífero.

A área do modelo corresponde ao sector do sistema aquífero definido pelo Vale Tifónico de Caldas da Rainha, e a sua fronteira coincidente com os limites desse mesmo sector.

O topo do modelo definiu-se como uma superfície que se estende por toda a área do sector em estudo, coincidente com a topografia, já que se considerou o aquífero livre, como já foi mencionado. A topografia foi mapeada tendo como base os dados cedidos pela ARH Tejo (secção II.5), relativos às cotas das captações e é apresentada na Fig. 16.

Quanto à base do modelo (Fig.17), foi estabelecida como coincidente com a base do aquífero, ou seja, o topo da camada litológica das Margas da Dagorda, sendo definida a profundidade

destas estruturas a partir dos logs litológicos das captações cedidos também pela ARH Tejo (Tabela A7 em Anexo), como já foi explicado na secção II.5. Esta profundidade foi convertida a altura do topo das margas, subtraindo a *grid* construída no programa Surfer para a profundidade das margas, à *grid* construída para a topografia, o que permitiu calcular a cota da base do aquífero.

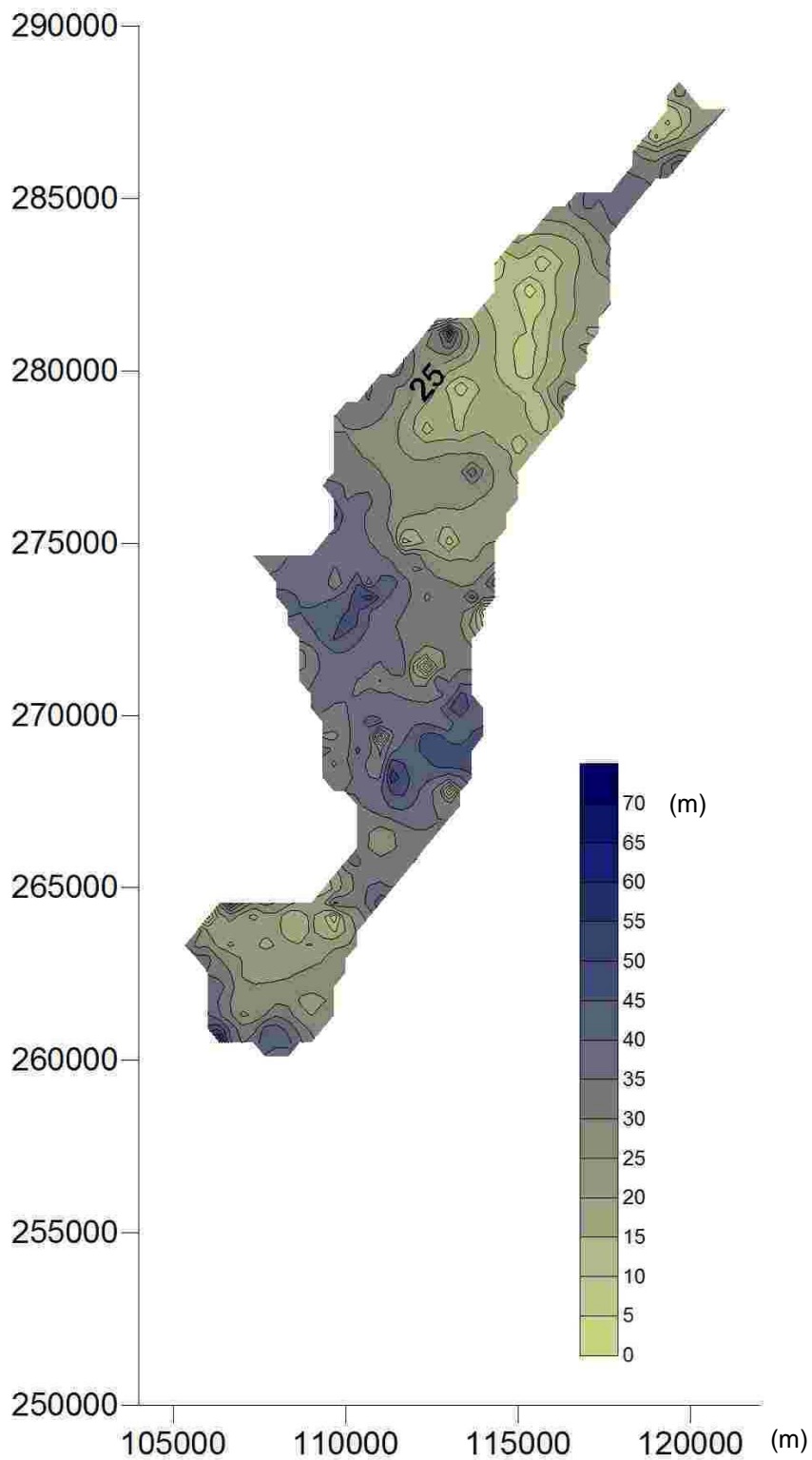


Fig. 16 – Topo do modelo conceptual em duas dimensões.

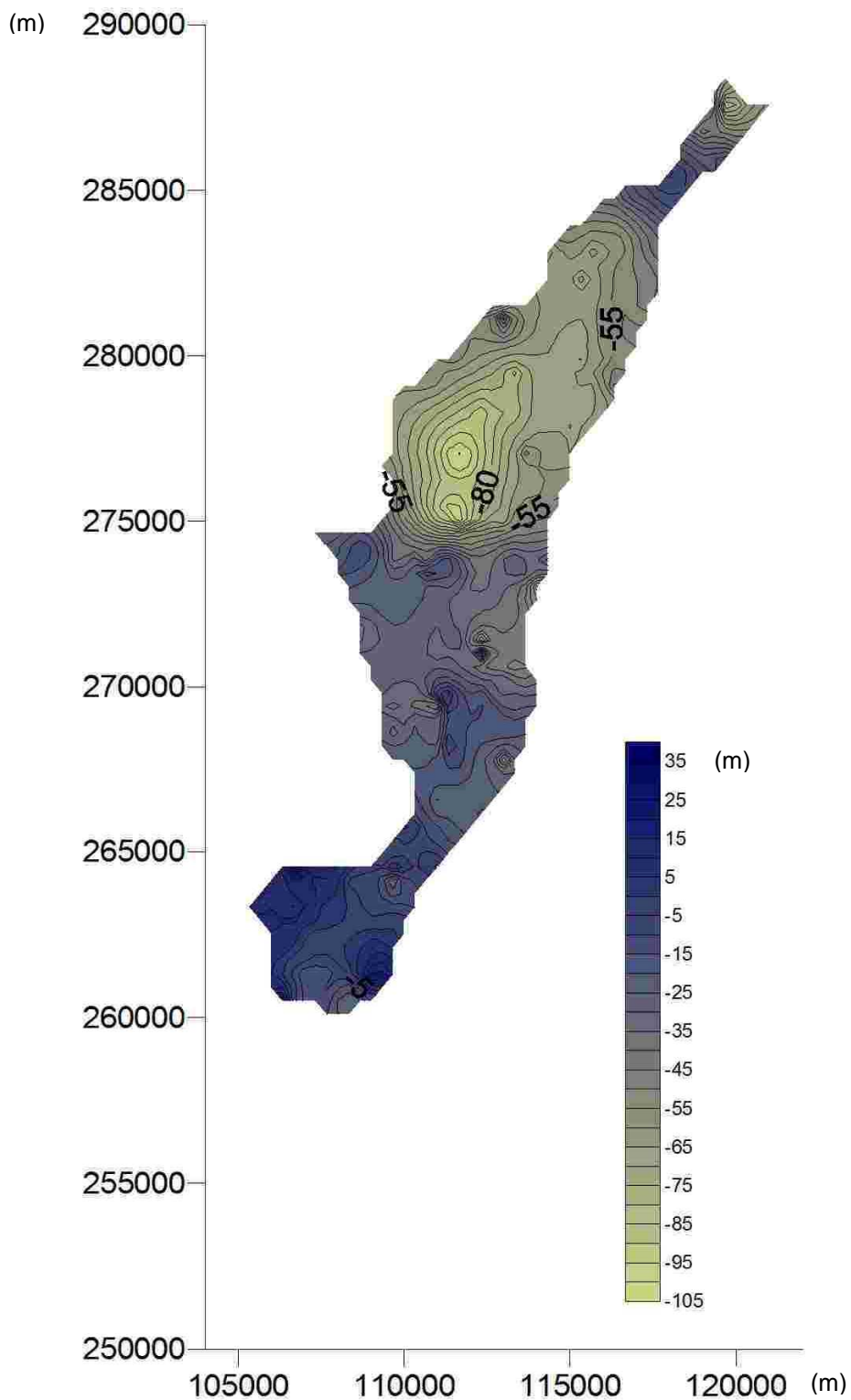


Fig. 17 – Base do modelo conceitual em duas dimensões.

De modo a poder-se estabelecer as condições de fronteira, mais concretamente, as zonas de entrada e saída de águas subterrâneas do modelo, foi tido em conta o fluxo das águas subterrâneas através do aquífero. Assim, o fluxo estabeleceu-se como sendo aproximadamente de Leste para Oeste, ocorrendo de forma semelhante à rede hidrográfica.

Também se considerou a topografia, já que o escoamento em profundidade será similar ao das águas superficiais, ocorrendo por gravidade.

A partir daqui definiu-se como zona de descarga do modelo a baía de S. Martinho do Porto, sendo aqui o potencial constante, ou seja, o nível piezométrico igual ao nível das águas do mar, constituindo esta uma condição de fronteira.

Tendo ainda em consideração a geologia do sistema, na medida em que formações mais ou menos hidraulicamente condutivas condicionarão mais ou menos o fluxo (Lencastre e Franco, 1992), foram definidas as restantes condições de fronteira. Como zonas de escoamento na fronteira definiram-se aquelas referentes aos contactos Plio-Plistocénico/Jurássico, justificadas pela maior capacidade das formações plio-pleistocénicas para conduzirem água, e ainda as referentes às zonas de Aluviões (vd. Secção II.4). Estas últimas justificam-se pela coincidência entre a sua disposição e a disposição da rede hidrográfica no sector, sendo que, em profundidade, o escoamento deverá ocorrer também através dessas zonas. Finalmente, os contactos entre as Margas da Dagorda e o Jurássico ficaram definidos como zonas da fronteira em que não há escoamento, precisamente devido à fraca capacidade das margas para a condução hidráulica (Ribeiro, 2008).

O sistema aquífero é alimentado através de recarga directa (precipitações) ou eventualmente, rios influentes (Almeida et al., 2000).

Foi assim definida uma recarga entre 15 a 20% da precipitação média local (Almeida et al., 2000), aproximadamente 770mm (vd. Secção II.2).

Embora os cursos de água mais importantes do sector em estudo sejam os Tornada, Alfeizerão, Arnóia e Rial (Silva et al., 1961), no modelo só foram considerados os três primeiros, devido à fraca qualidade dos dados referentes ao rio Rial, como já mencionado na secção II.3.

Quanto à extracção, só foi considerada aquela relativa ao abastecimento público dos concelhos de Caldas da Rainha e Óbidos, uma vez que, como já foi dito, os dados relativos ao concelho de Alcobaça não foram disponibilizados, sendo estes os três concelhos cujas captações públicas se encontram sobre o sector do aquífero estudado.

O esquema representado na Fig.18 pretende sintetizar todos os aspectos atrás descritos.

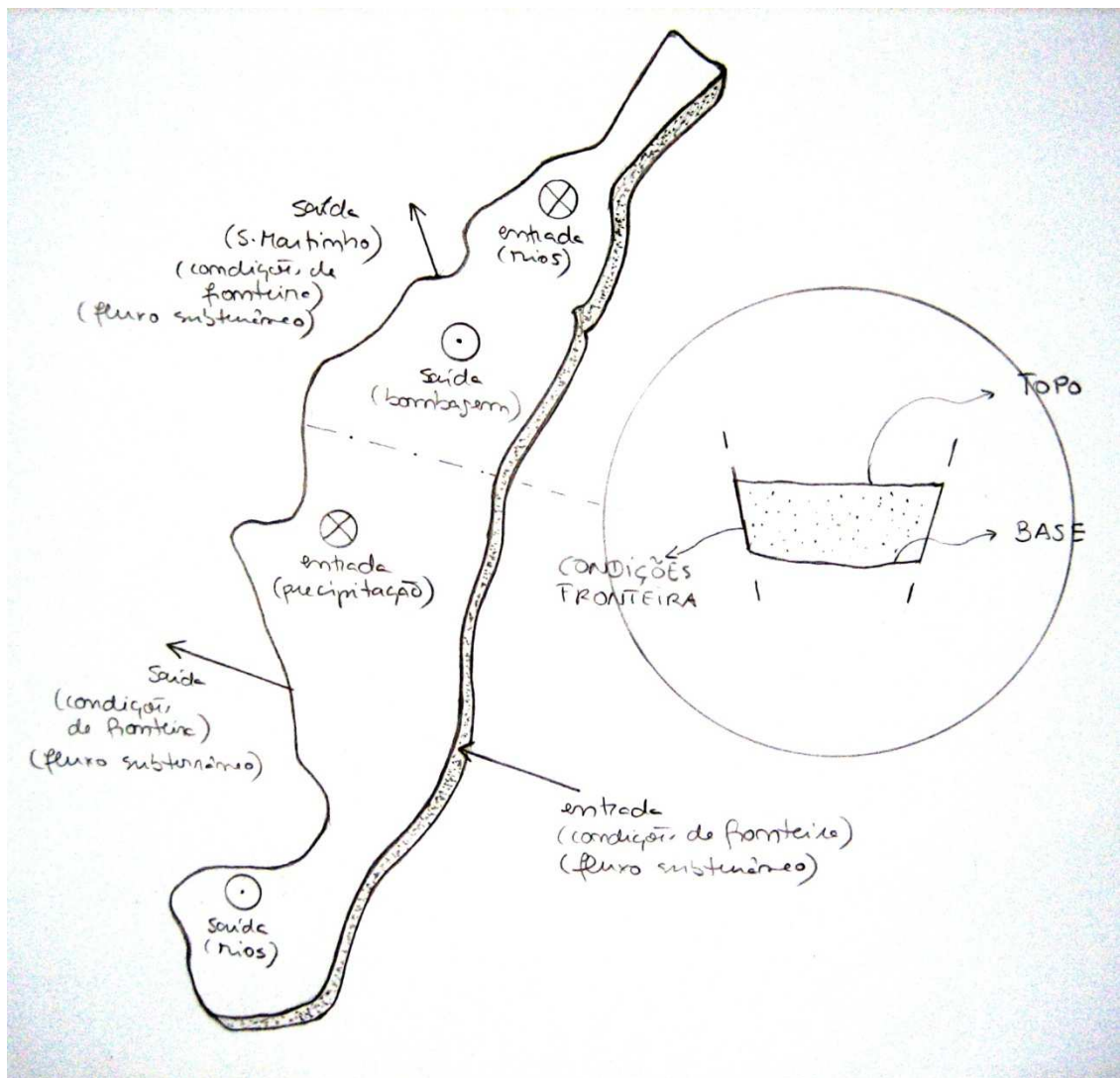


Fig. 18 – Esquema do modelo conceptual.

Nota: Os pontos onde são marcadas as entradas e saídas de água são meramente representativos e significam a entrada ou saída de água nos vários termos do escoamento: condições de fronteira, precipitação (recarga), rios e captações.

IV.2 – Modelo matemático

O modelo matemático foi criado recorrendo ao programa ASMWIN (Chiang et al., 1998). Este programa, usando a técnica de diferenças finitas, calcula valores de piezometria em cada célula da malha de diferenças finitas em função dos parâmetros de entrada que caracterizam o escoamento.

Assim, para calcular esses valores, o ASMWIN resolve a equação diferencial de fluxo em cada célula (nó) da malha, expressando o balanço de água através de uma relação entre a piezometria num nó e as piezometrias dos quatro nós adjacentes, sendo a lei fundamental de escoamento a lei de Darcy. Em caso de regime transitório, este balanço de água aplica-se a

um passo temporal e as incógnitas das equações são os valores de piezometria no final de um passo temporal. Como cada equação pode envolver até cinco valores de piezometria incógnitos, e como o conjunto desses valores varia de uma equação para a seguinte ao longo da malha, as equações para o conjunto de células têm que ser resolvidas simultaneamente em cada passo temporal.

Foi então definida uma malha de 150 linhas por 150 colunas, sendo cada célula representativa de um quadrado com 200m de lado. O tipo de aquífero foi escolhido como não confinado com um factor de anisotropia igual a 1, ou seja, isotrópico.

Foram também especificadas as condições de fronteira, coincidentes com as descritas na secção anterior, sendo 1 o valor atribuído para as células activas, 0 o valor atribuído às células inactivas e -1 o valor atribuído às células de potencial constante (Fig. 19).

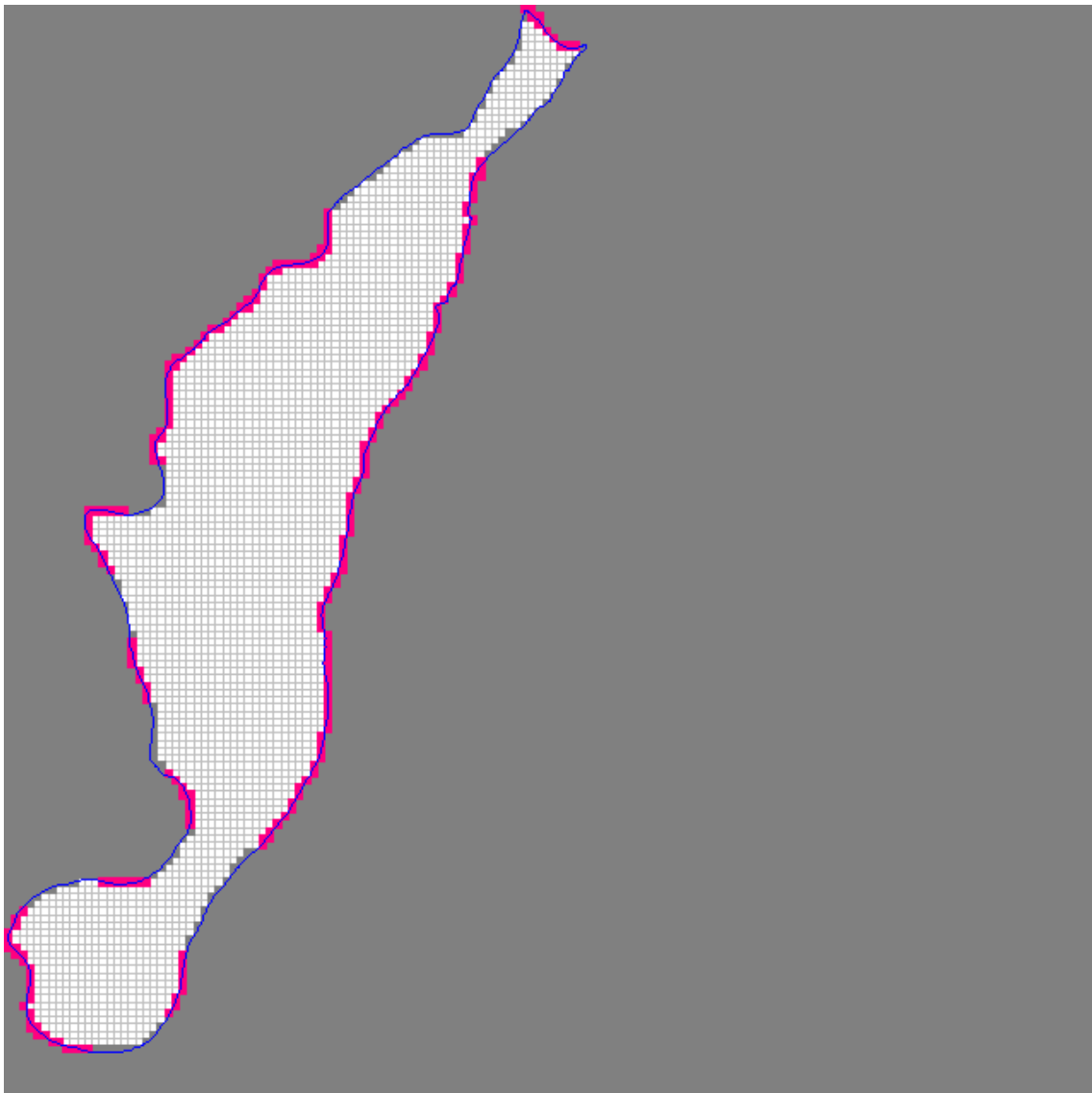


Fig. 19 – Malha do modelo (150 por 150 células) e condições de fronteira.

Nota: A branco, células activas, a cinzento, células inactivas e a cor-de-rosa forte, células de potencial constante).

Seguidamente especificaram-se o topo e a base do modelo (Fig. 20 e 21) de acordo com o já mencionado na secção anterior.

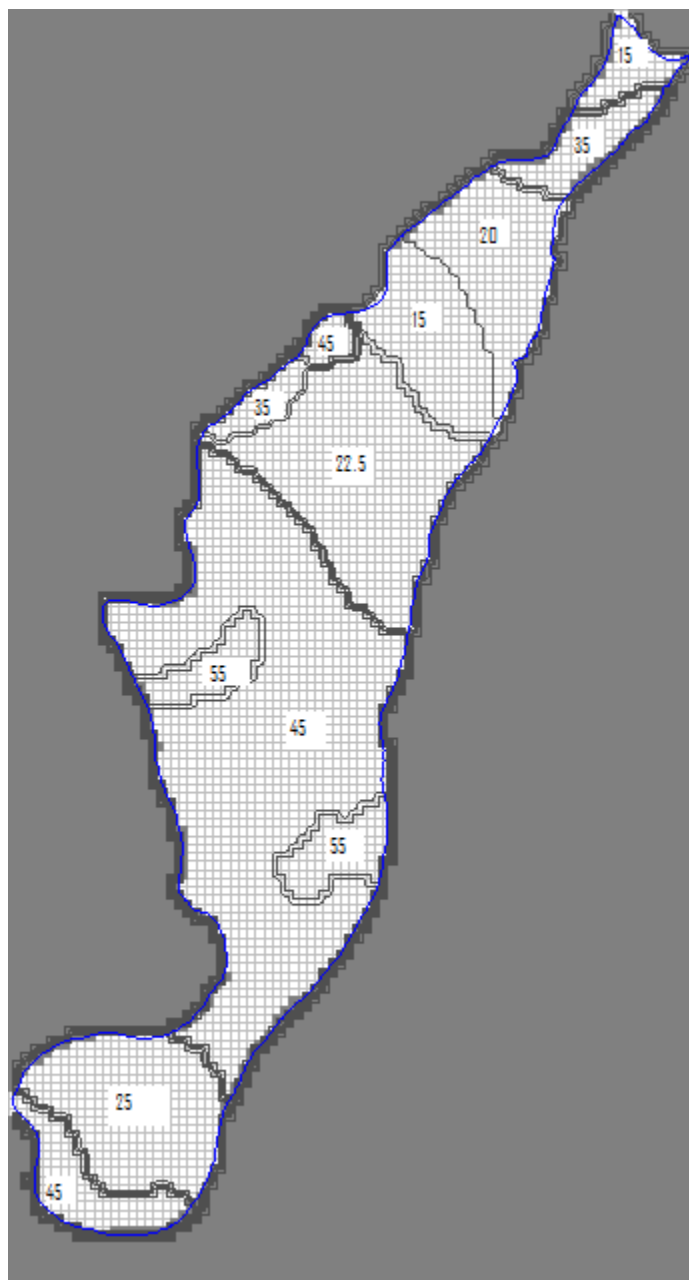


Fig. 20 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para o topo do aquífero, em relação ao nível médio das águas do mar.

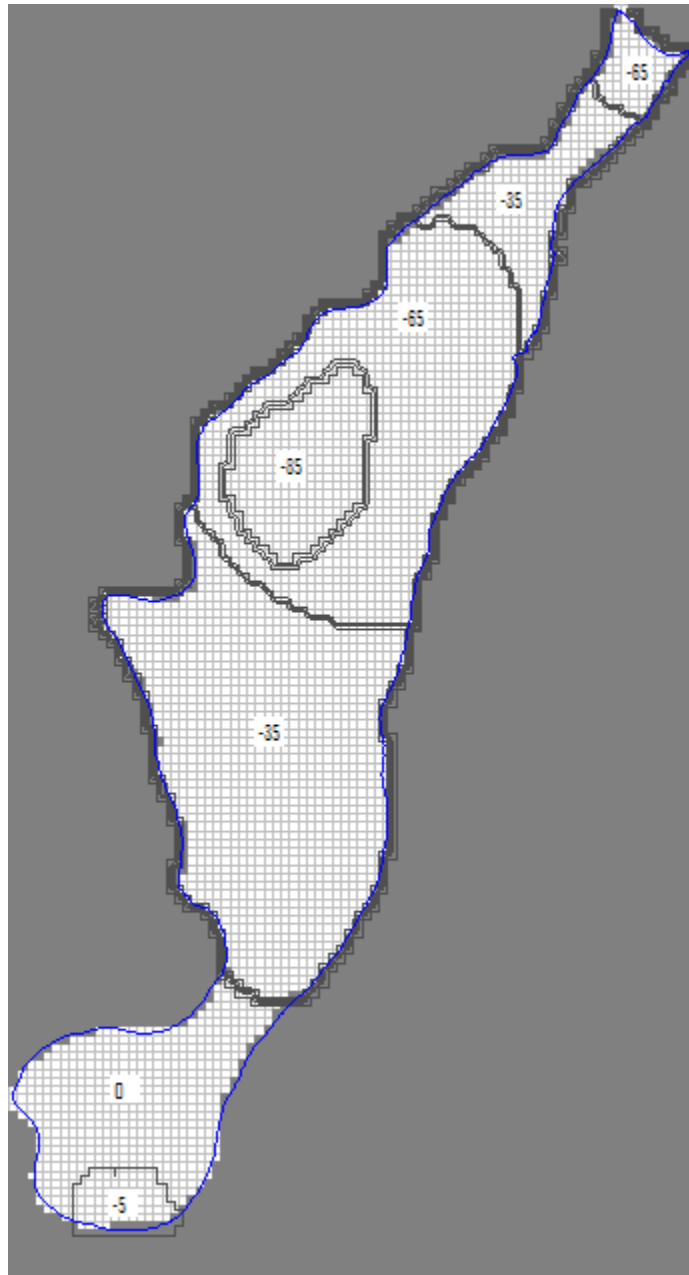


Fig. 21 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para a base do aquífero, em relação ao nível médio das águas do mar.

Quanto à variação no tempo, a modelação matemática foi feita em regime permanente, ou seja, não há variação no tempo. Uma vez que admitimos como hipótese que o aquífero se encontra em equilíbrio no tempo, a quantidade de água que entra é aproximadamente igual à que sai.

Para a simulação do escoamento poder ocorrer é também necessário atribuir valores iniciais de piezometria, para a resolução iterativa em regime permanente. Estes valores foram calculados usando o topo do aquífero como ponto de partida e subtraindo, a cada zona, um valor correspondente ao valor médio da profundidade do nível freático em todo o aquífero. Este valor ponderado foi calculado com base em dados recolhidos no site do SNIRH (Tabela A10 em

Anexo) e é da ordem dos 4m. Na Fig. 22 podem ser observados os valores de piezometria inicial. É de lembrar que estes valores não são exactos, sendo apenas requisitos necessários para o início da resolução iterativa levada a cabo durante as corridas do modelo. Da mesma forma, o método usado para calcular a piezometria de entrada não deverá ser avaliado pela sua exactidão. O seu objectivo foi só e apenas atribuir valores de entrada que serão alterados nas simulações de escoamento.

Nas zonas de fronteira do modelo cujas células foram consideradas como de potencial constante, o nível piezométrico será mantido igual durante toda a simulação do escoamento.

Há ainda a observar, na Fig. 22, que as células correspondentes à condição de fronteira que mantém o potencial constante na zona assinalada têm o valor de 0m, que é o nível das águas do mar, uma vez que correspondem geograficamente à saída para a baía de S. Martinho do Porto.

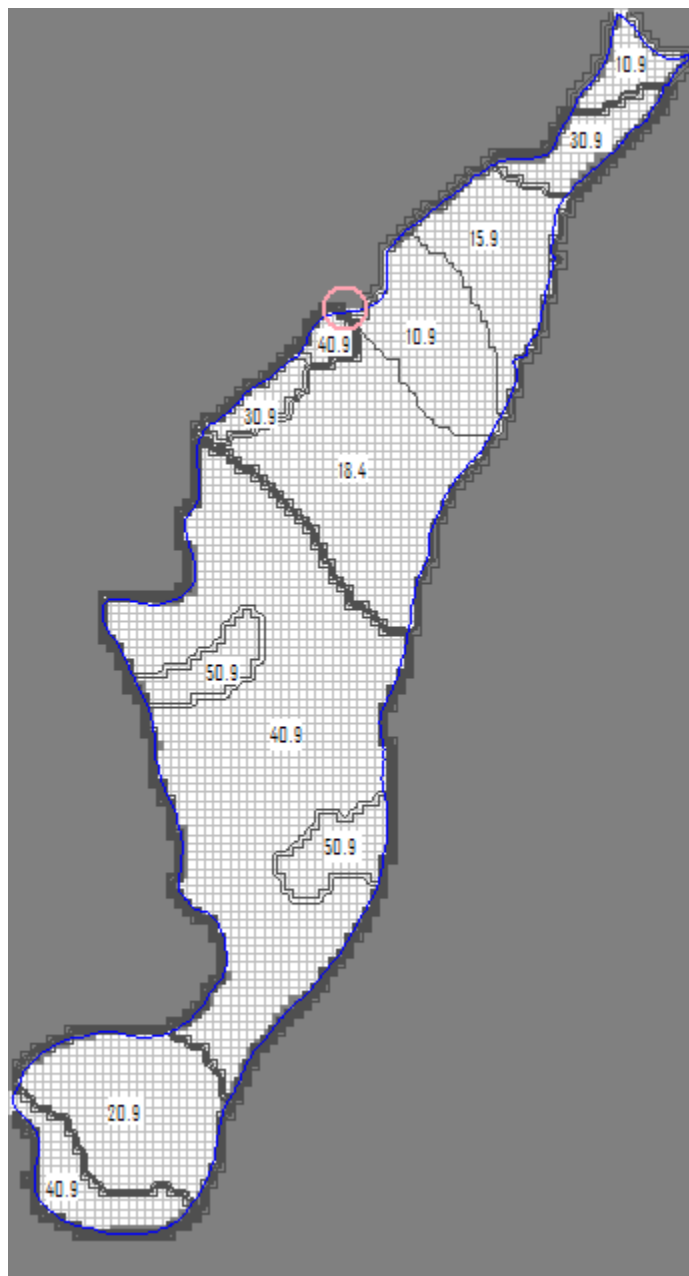


Fig. 22 – Valores (em metros) atribuídos por zonas, para a piezometria de entrada.
 Nota: O círculo cor-de-rosa assinala a zona de piezometria nula na fronteira.

Quanto à porosidade, e como foi mencionado na secção anterior, o valor usado foi de 20%.

Quanto aos cursos de água intervenientes na modelação, e como já foi mencionado na secção anterior, só se consideraram os rios Alfeizerão, Tornada e Arnóia (Fig. 23). Os níveis hidrométricos médios calculados foram de 0.91m, 2.89m (vd. Secção II.3) e 0.20m, respectivamente. Há que mencionar ainda que, devido à inexistência de dados relativos ao nível hidrométrico do Rio Arnóia, este valor foi estimado recorrendo ao trabalho escolar de Alves e Sousa (2005), estabelecendo-se assim um valor médio de 0.20m.

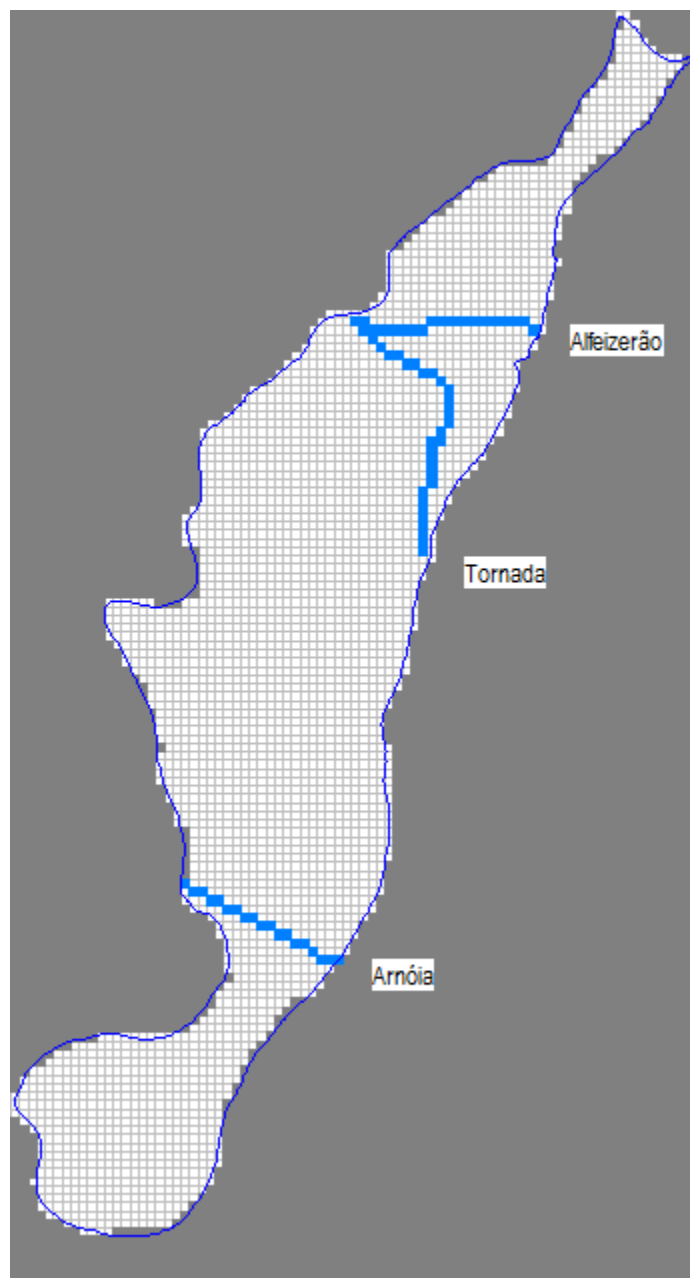


Fig. 23 – Localização dos cursos de água na malha de diferenças finitas.

Cada célula definida como parte da rede hidrográfica foi cuidadosamente seleccionada e aí definida a altura do topo da água do rio e a altura da sua base, calculada subtraindo à primeira o valor do nível hidrométrico médio. Os valores do topo e base foram variando suavemente célula a célula mas tendo sempre em conta que esta variação teria que ser concordante com a topografia.

Foi ainda definido o coeficiente de drenância, quociente entre a condutividade hidráulica, K , dos sedimentos e a altura dos mesmos, considerado igual para toda a rede. Para começar, foi usado um valor de $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, calculado a partir de um valor típico de K para areia de mistura de $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ (Lencastre e Franco, 1992) e uma altura de sedimentos hipotética de 1m. Estes

valores tiveram que ser estimados, uma vez que não existem dados sobre o tipo de sedimentos e a sua altura. No entanto, são meros valores iniciais já que o coeficiente de drenância também será calibrado.

Finalmente, quanto à recarga feita pela água da chuva, foi definida homoganeamente em todas as células da malha como 15% da precipitação média anual (770 mm/ano), sendo este valor de $3.66 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$, obtido da seguinte forma:

$$770 \text{ mm/ano} \times 15\% = 115.5 \text{ mm/ano}$$

$$115.5 \text{ mm/ano} = 115.5 \text{ L/m}^2/\text{ano} = 115.5 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{ano} = 1.155 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^2 / 31536000 \text{ s} = 3.66 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$$

Este valor também será validado, fazendo-o variar para 20% da precipitação média anual.

IV.3 – Simulação sem bombagem

Um cenário sem captações ou seja, sem bombagem, foi usado para calibrar o modelo.

Começou-se por calibrar os valores de condutividade hidráulica, K . Para isso, foi-se variando o seu valor nas células da malha, comparando depois os resultados de piezometria obtidos com os medidos nas estações piezométricas de referência (Fig. 24), através de rectas de calibração dos resultados (vd. Fig. 26). Quanto mais os pontos (valor de piezometria observado, valor de piezometria obtido) se aproximarem da recta, melhor será a calibração.

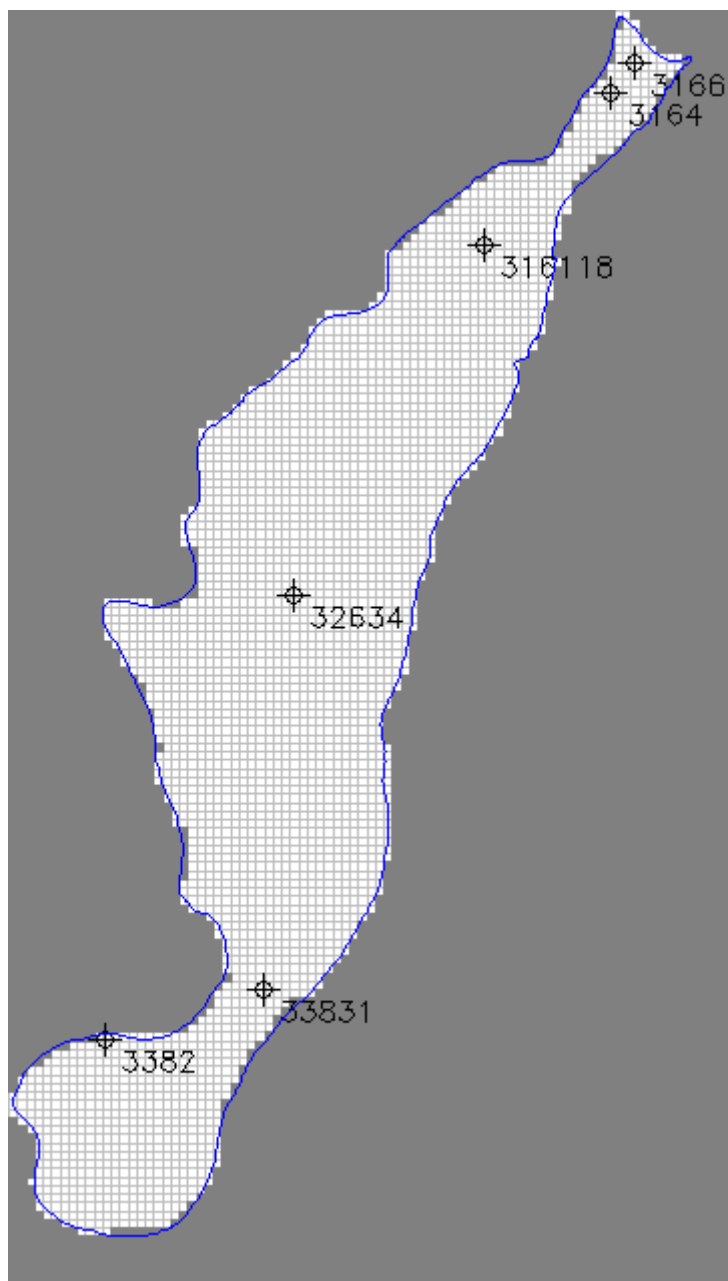


Fig. 24 – Localização na malha das estações piezométricas de referência.

Seguidamente, na Tabela 6, são mostradas as correspondências entre os códigos de denominação usados para cada estação e os níveis piezométricos nelas medidos. Note-se que estes valores correspondem aos valores apresentados na secção III como relativos ao momento anterior à seca 2004/2005.

Tabela 6 – Correspondência entre os códigos de denominação usados para cada estação, no modelo, e os níveis piezométricos nelas medidos.

Código da estação no modelo	Código da estação (SNIRH)	Nível piezométrico (m)
3164	316/004	4.99
3166	316/006	6.87
31611	316/118	9.22
32634	326/034	33.00
3382	338/002	20.12
33831	338/031	25.33

Foram então levadas a cabo 39 simulações de escoamento, cujos mapas de K e diagramas resultantes mais significativos são apresentados na próxima página (Fig. 25 a 29 e Tabela 7). É de notar que foram tentadas outras representações espaciais de K , inclusive com mais ou menos zonas, mas cujos resultados foram de pior qualidade. Refira-se que a calibração começou com apenas um valor de K para todo o aquífero, evoluindo depois para dois valores diferentes, depois quatro e finalmente terminando com três.

Assim, chegámos aos valores de $K_1=4.00 \times 10^{-3}$ m/s, $K_2=6.40 \times 10^{-4}$ m/s e $K_3=7.20 \times 10^{-4}$ m/s referentes à Simulação 39, para o mapa apresentado na Fig. 25. O balanço hídrico resultante desta simulação, fornecido pelo programa, pode ser visualizado em Anexo, com o nome de “Balanço hídrico da simulação 39”.

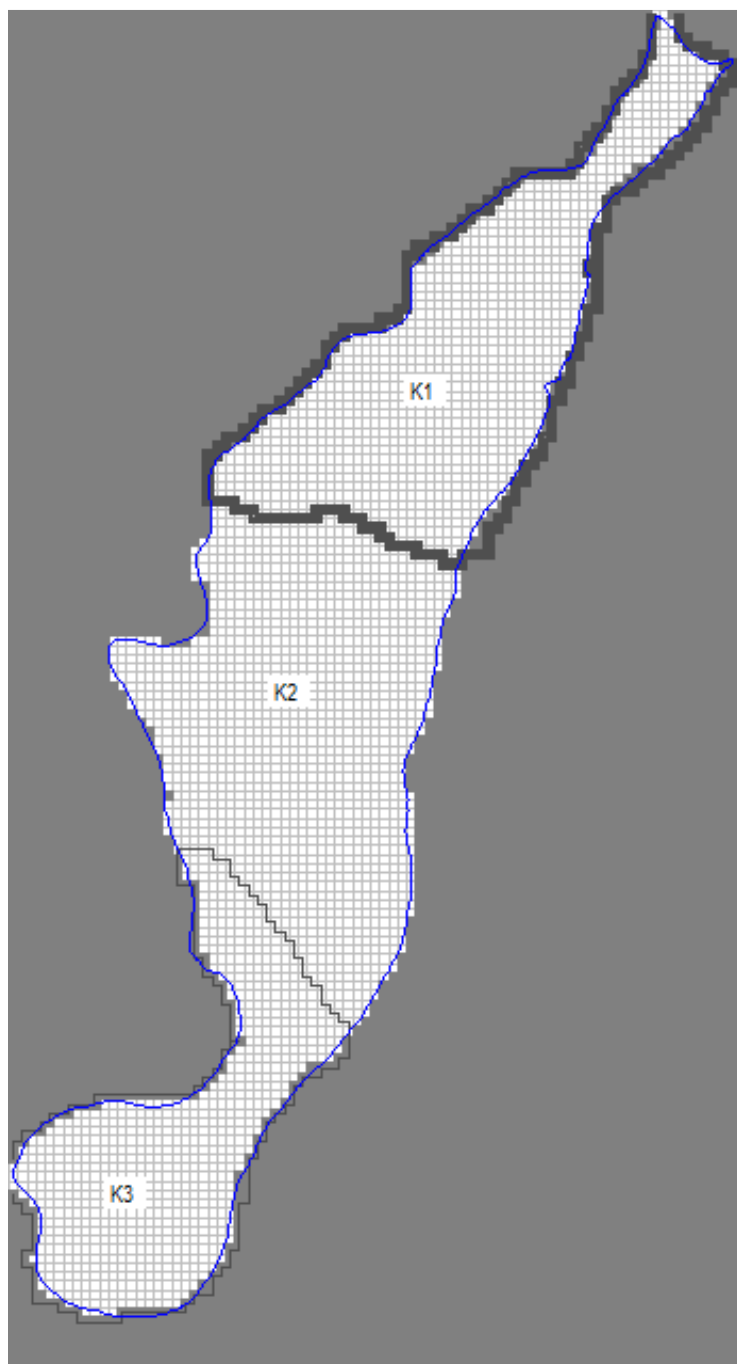


Fig. 25 – Mapa de condutividades hidráulicas, *K*.
Nota: K1, K2 e K3 representam diferentes condutividades.

Tabela 7 – Valores de K1, K2 e K3 para cada simulação.

Simulação	2	22	32	39
K1 (m/s)	3.00×10^{-5}	5.00×10^{-4}	2.50×10^{-3}	4.00×10^{-3}
K2 (m/s)	3.26×10^{-5}	8.00×10^{-5}	4.00×10^{-5}	6.40×10^{-4}
K3 (m/s)		9.00×10^{-5}	4.50×10^{-5}	7.20×10^{-4}

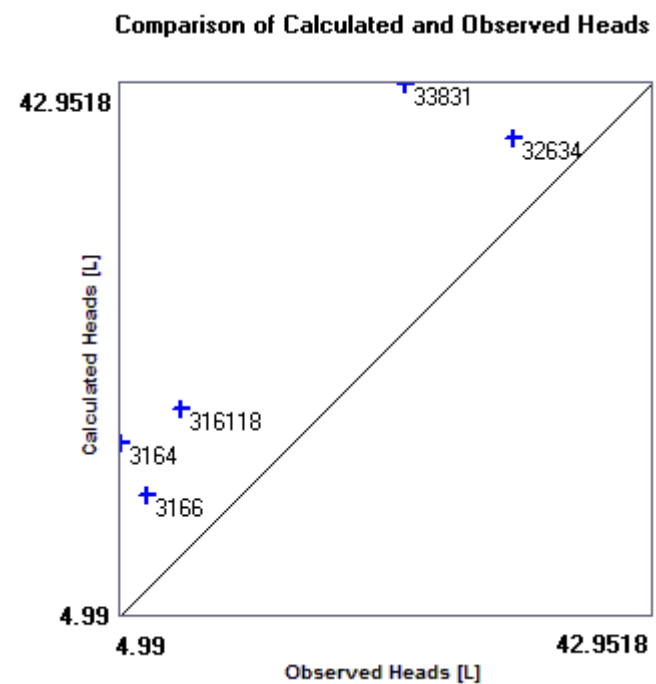


Fig. 26 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 2.

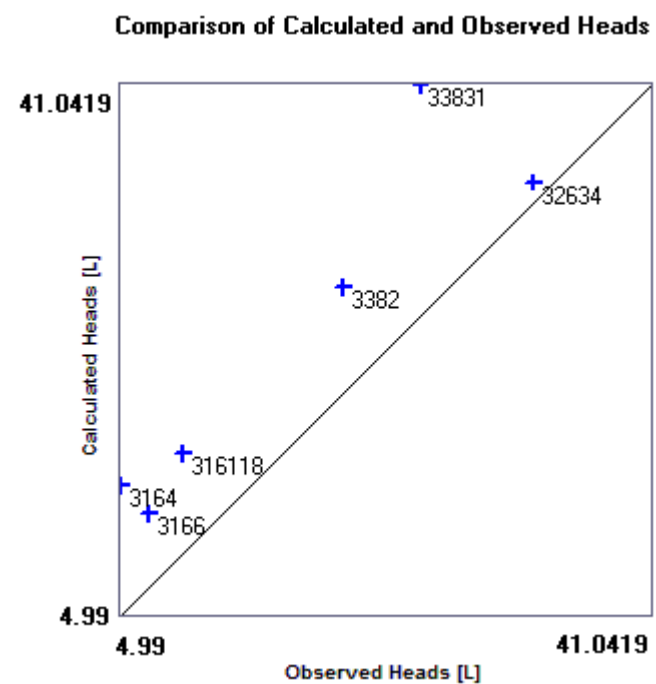


Fig. 27 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 22.

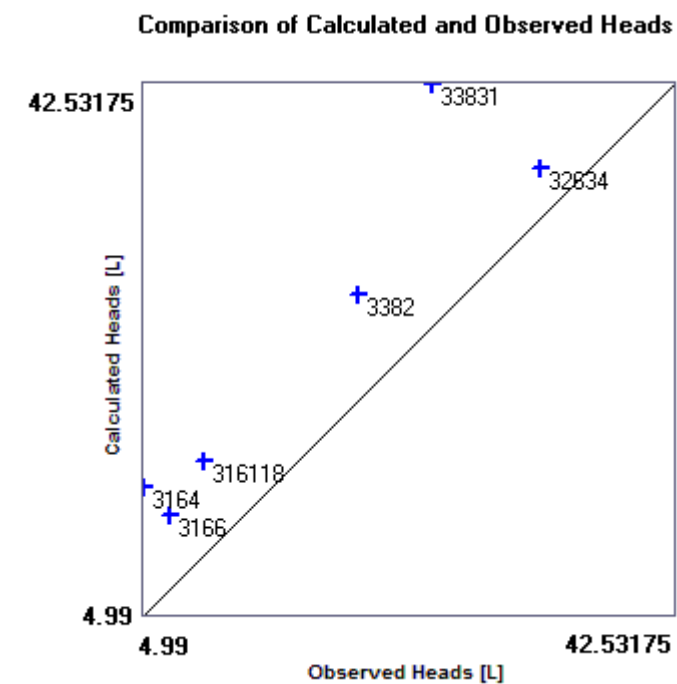


Fig. 28 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 32.

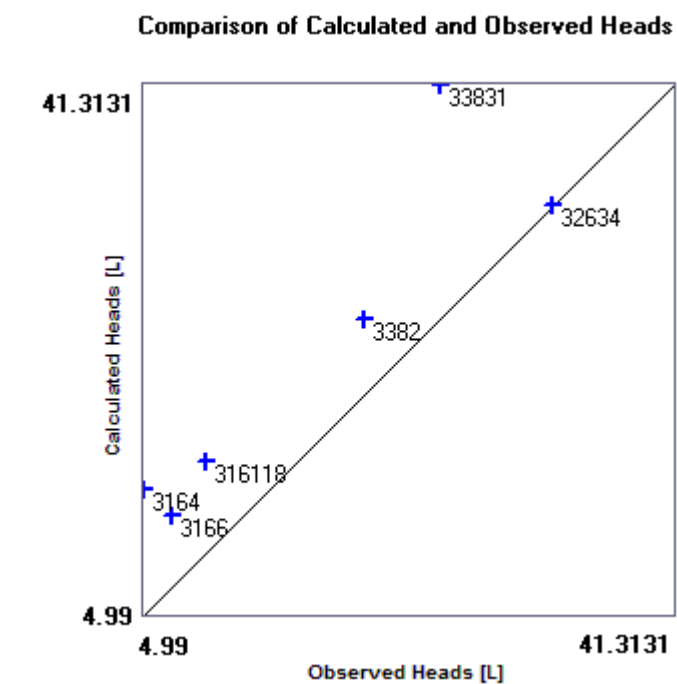


Fig. 29 – Recta de calibração relativa ao resultado da Simulação 39.

Fig. 25 a 29
Tabela 7

Seguidamente, para calibrar o coeficiente de drenância, considerou-se a recarga nula e desactivou-se a influência dos rios Alfeizerão e Tornada. Isto porque só existem dados de caudal referentes ao rio Arnóia (secção II.3). Foi-se então variando o valor do coeficiente de drenância, de modo a que o caudal de drenagem (*leakage*) no balanço hídrico resultante, tivesse a mesma ordem de grandeza do caudal médio calculado durante os meses de Verão, que são os meses correspondentes a uma recarga nula. Assim, chegou-se a um valor de $2.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, sem alteração da recta de calibração (Fig. 30). O balanço hídrico resultante desta simulação pode ser visto em Anexo, com o nome “Balanço hídrico da simulação 44”. São também apresentados o mapa de isopiezas e vectores de fluxo calculados nesta simulação (Fig. 31 e Fig. 32).

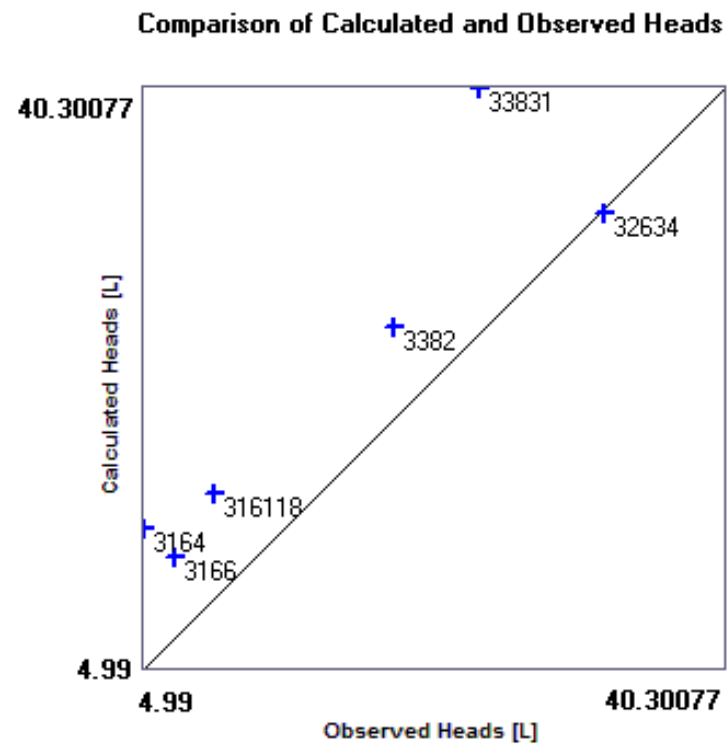


Fig. 30 – Recta de calibração relativa à simulação 44.

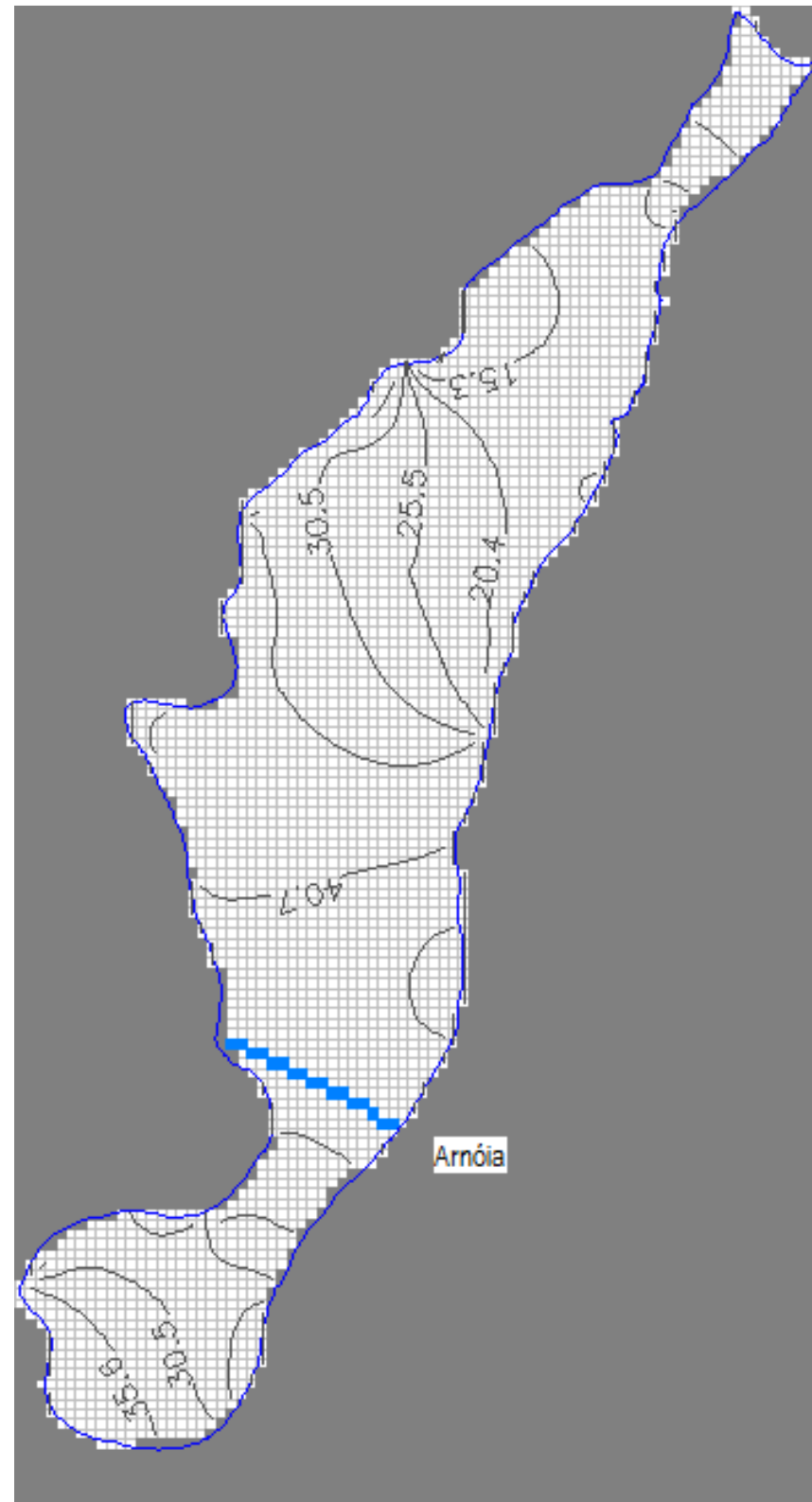


Fig. 31 – Mapa de isopiezas relativo à simulação 44.

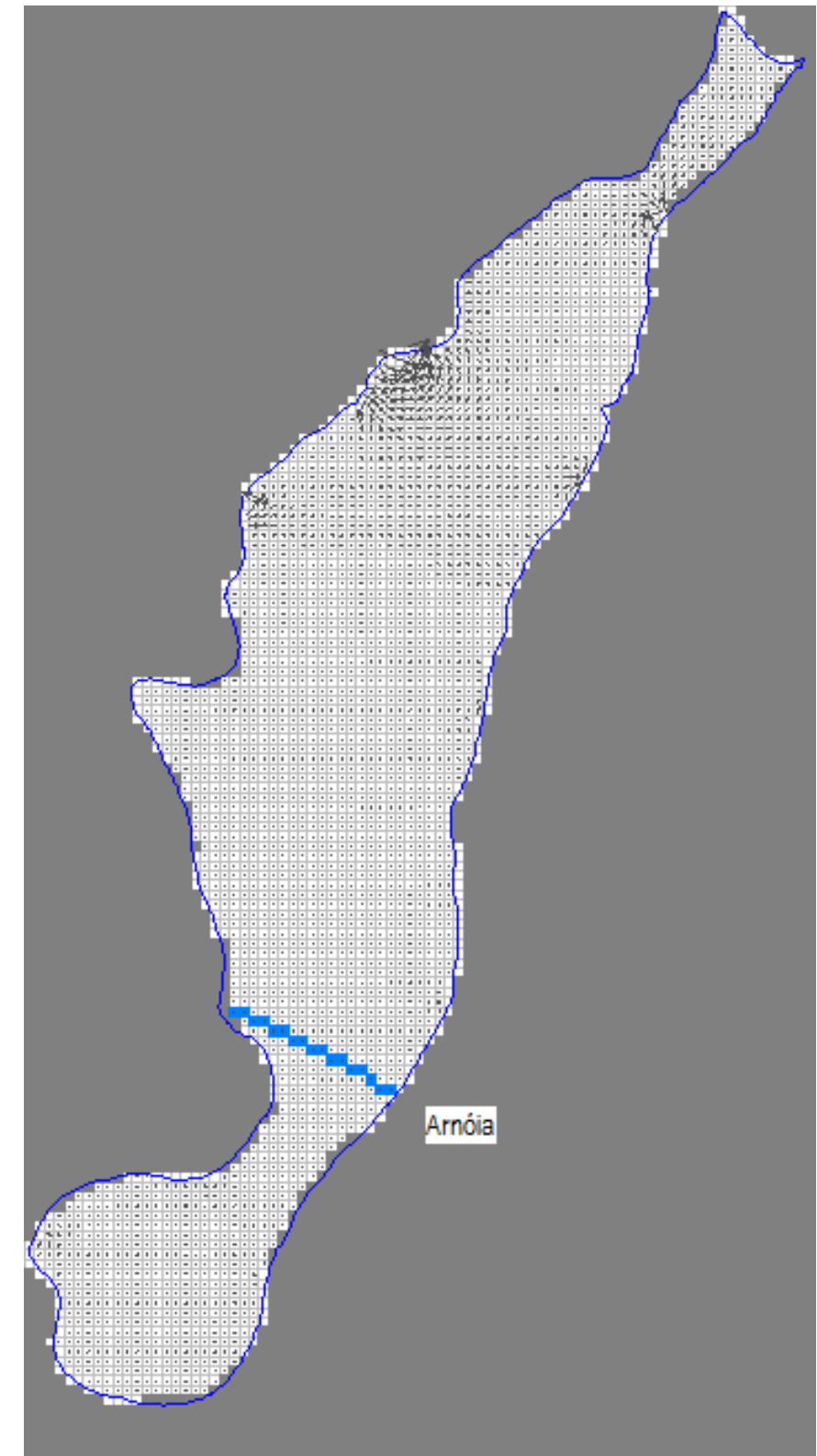


Fig. 32 – Mapa de vectores de fluxo relativo à simulação 44.

Fig. 30 a 32

Para calibrar o valor de recarga, fez-se uma nova simulação para 15% da precipitação média anual ($3.66 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$), mas agora com o valor do coeficiente de drenância já calibrado. A recta de calibração pode ser observada na Fig. 33 e o balanço hídrico encontra-se em Anexo com o nome “Balanço hídrico relativo à simulação com recarga a 15% da precipitação média anual”.

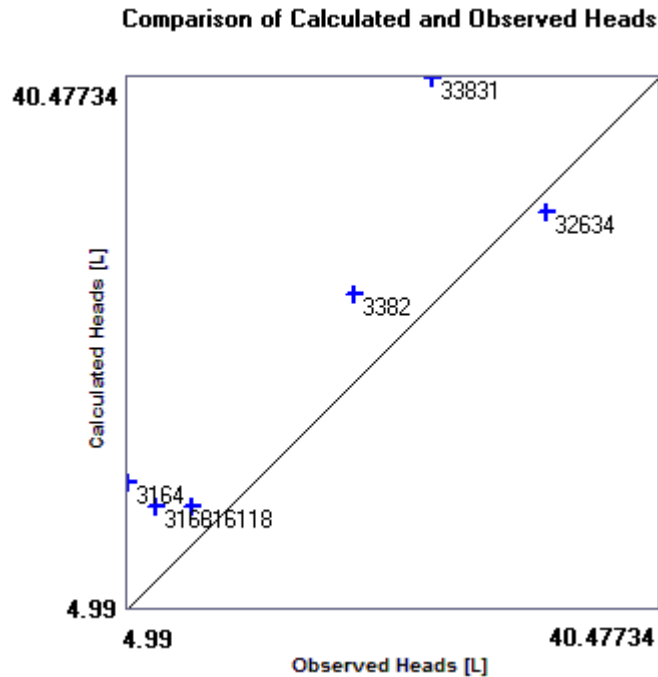


Fig. 33 – Recta de calibração relativa à simulação com recarga a 15% da precipitação média anual.

Em seguida, e sabendo que

$$770 \text{ mm/ano} \times 20\% = 154 \text{ mm/ano}$$

$$154 \text{ mm/ano} = 154 \text{ L}/\text{m}^2/\text{ano} = 154 \text{ dm}^3/\text{m}^2/\text{ano} = 1.54 \times 10^{-1} \text{ m}^3/\text{m}^2 / 31536000 \text{ s} = 4.88 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$$

procedeu-se à simulação de 20% da precipitação média anual. A recta de calibração pode ser observada na Fig. 34 e o balanço hídrico encontra-se em Anexo com o nome “Balanço hídrico relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual”.

Como não se registaram alterações significativas, optou-se por prosseguir com o valor referente a 20% da precipitação média anual, $4.88 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$.

São ainda apresentados os mapas de isopiezas e vectores de fluxo para esta última simulação (Fig. 35 e 36).

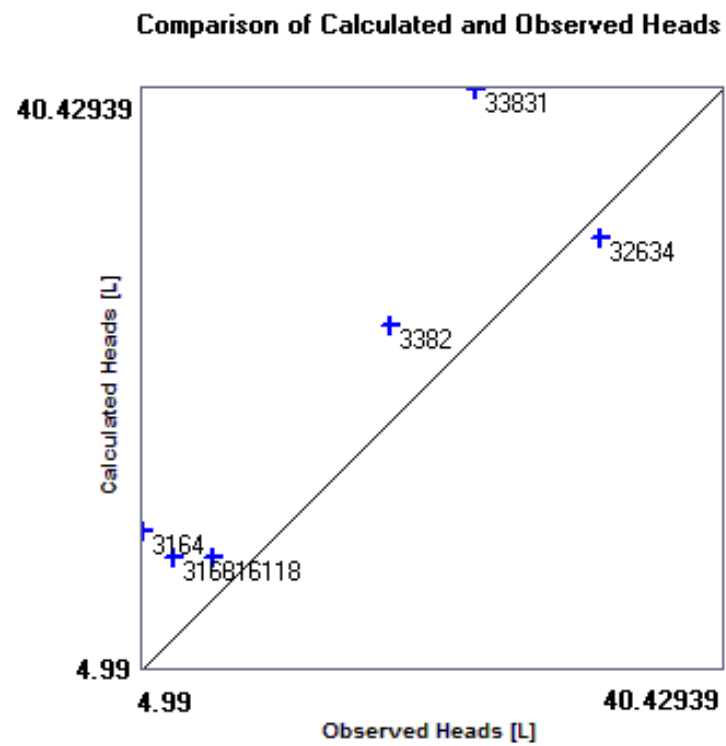


Fig. 34 – Recta de calibração relativa à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.

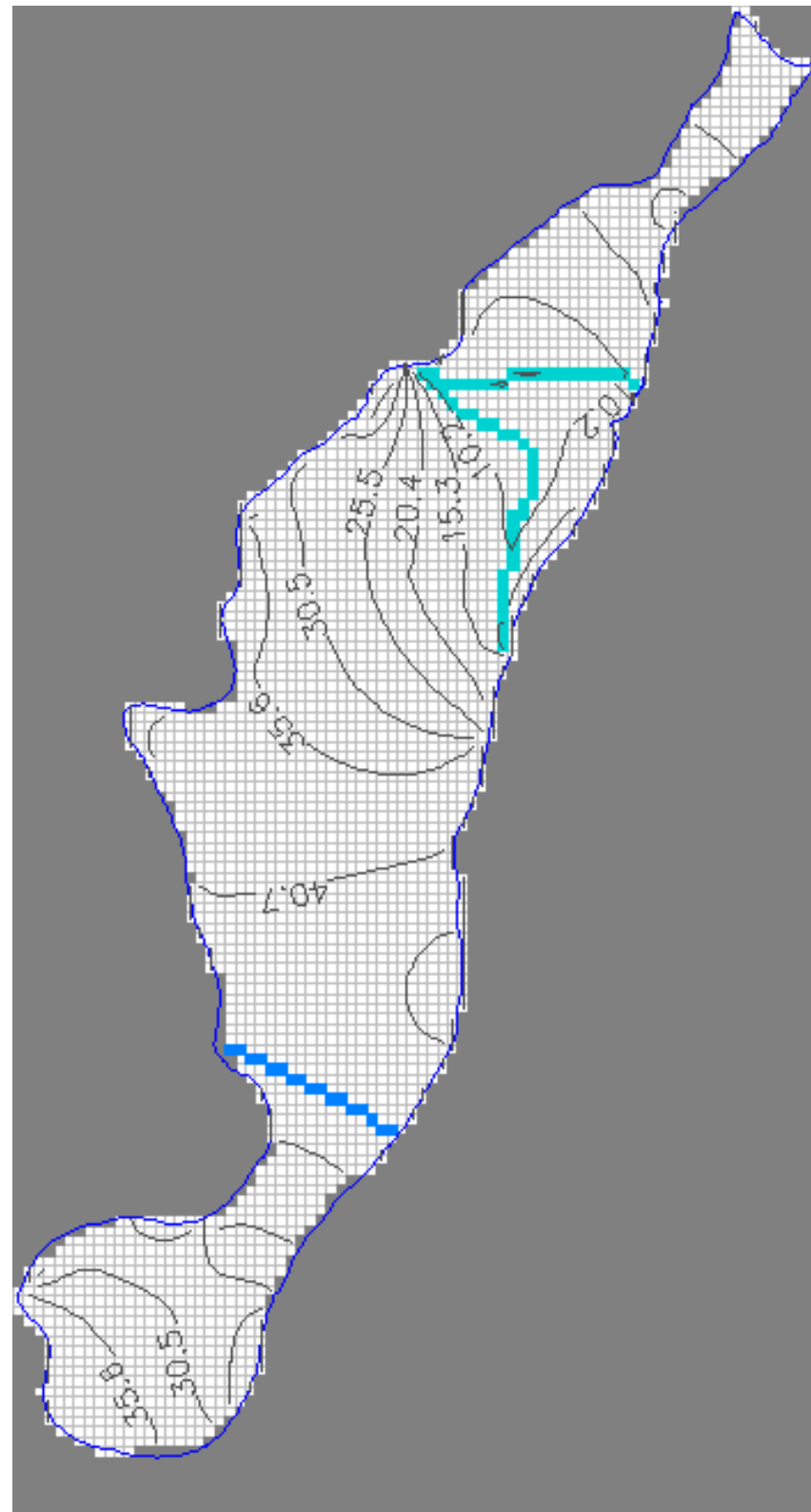


Fig. 35 – Mapa de isopiezas relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.

Nota: O traço grosso azul mais claro representa os rios através dos quais o aquífero perde água e o traço grosso azul mais escuro representa os rios através dos quais o aquífero ganha água.

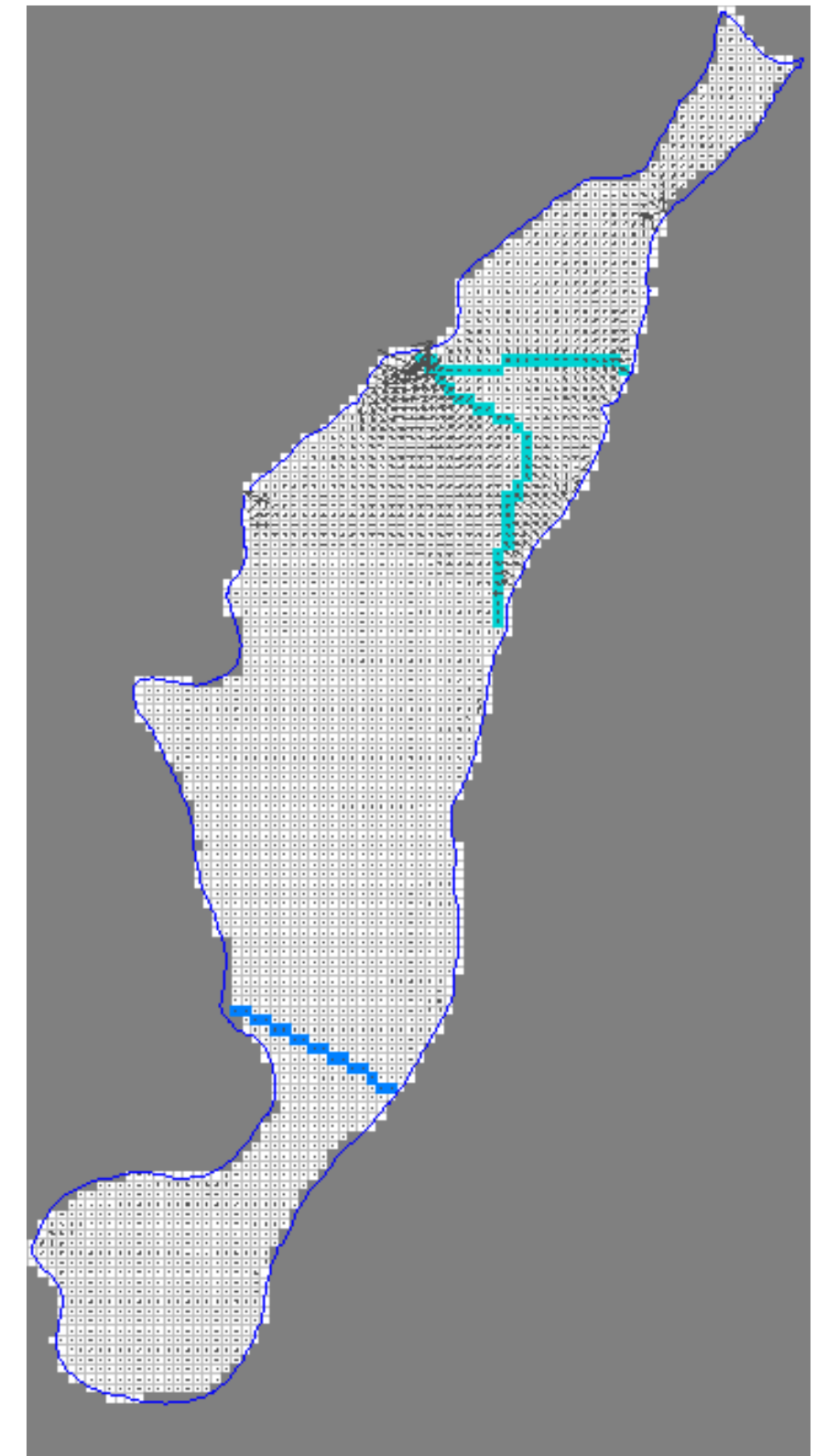


Fig. 36 – Mapa de vectores de fluxo relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual.

Fig. 34 a 36

IV.4 – Simulação com bombagem

Neste cenário, que é o mais aproximado à situação actual, tendo sido por isso chamado de “Cenário 0”, são introduzidas as captações relativas ao abastecimento público dos concelhos de Caldas da Rainha (com valores de caudais referentes ao ano de 2008 e aos três primeiros meses de 2009 para Caldas da Rainha e referentes a 2007 para Óbidos).

Os valores de extracção dessas captações são aqueles apresentados na secção II.5, tendo sido calculados os valores médios anuais, em m³/s, para cada captação de Caldas da Rainha e feita uma conversão de unidades, de m³/dia para m³/s, para as captações de Óbidos. Assim, apresentam-se seguidamente os resultados desses cálculos, que constituem os valores de entrada no modelo (Tabela 8), tanto para o Cenário 0, que retrata a situação actual, como para o Cenário 1, que retrata uma situação em que há um aumento de extracção de 1.5 vezes, nas mesmas captações. Na Fig. 37 é apresentada a localização das captações na malha.

Tabela 8 – Valores de caudais extraídos pelas captações consideradas no modelo, para os dois cenários.

Município	Denominação da captação	M	P	Cenário 0	Cenário 1
				Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
Caldas da Rainha	JK 25A	112585	270817	3.48E-02	5.23E-02
	PS7	112461	270924	1.67E-02	2.50E-02
	JK26	111194	275406	1.17E-02	1.76E-02
	JK27	111535	276872	3.00E-02	4.49E-02
	PS 9B	111119	275709	2.42E-02	3.64E-02
	RA 5	111377	276628	2.78E-02	4.17E-02
	RA 8	110825	275960	1.05E-02	1.57E-02
	RA 9	111122	276817	1.46E-02	2.19E-02
	PS 6	111317	276332	3.55E-02	5.33E-02
	RA 22	111483	275768	1.73E-02	2.60E-02
	RA 11	112773	279729	5.96E-02	8.93E-02
	RA 21	112837	279807		
	RA 14	112714	278994	3.11E-02	4.66E-02
	RA 16	112848	279913	1.35E-02	2.03E-02
	RA 3	108647	274147	2.08E-02	3.12E-02
RA 6	108680	274159			
Óbidos	JK8	106318	263673	2.75E-03	4.12E-03
	RA1	112419	270018	2.07E-02	3.11E-02
	RA2	111960	269530	3.83E-03	5.75E-03
	RA3	112564	270106	1.92E-02	2.88E-02
	RA4	112209	269760	1.92E-03	2.88E-03
	RA5	111274	269681	4.07E-03	6.11E-03
	RA8	111024	269508	4.00E-03	6.01E-03

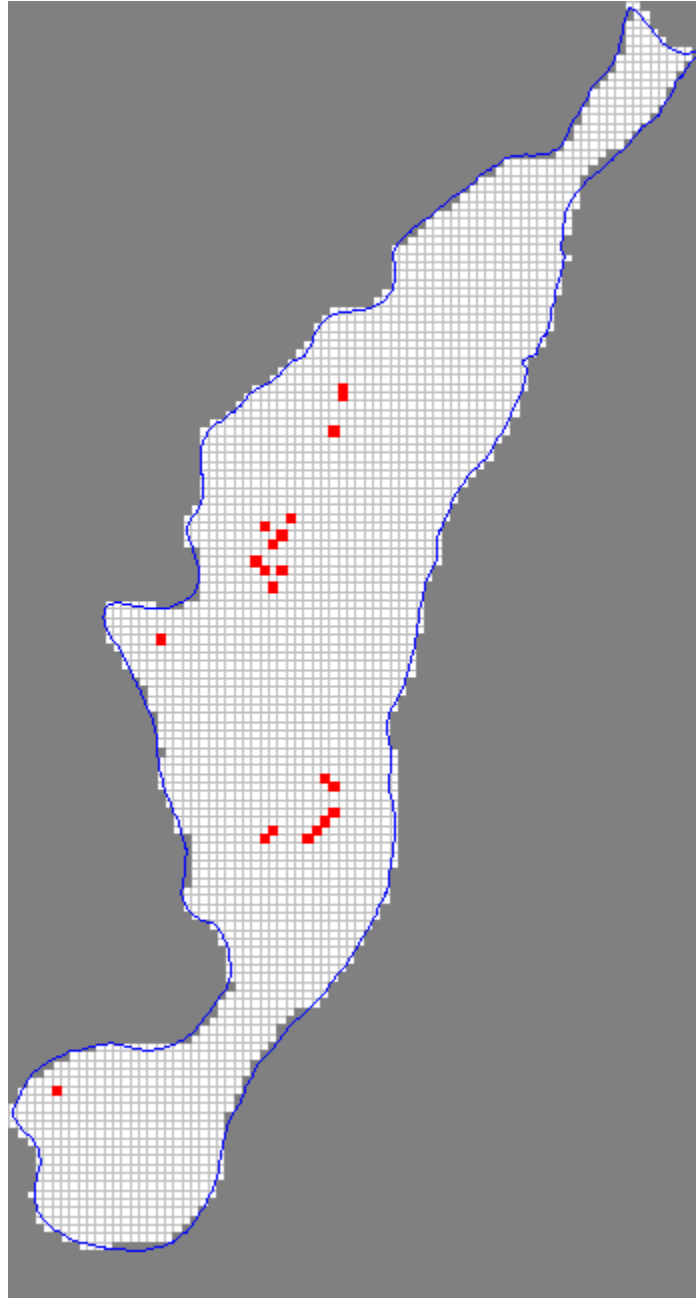


Fig. 37 – Localização dos pontos de extracção na malha.

É de mencionar que as captações RA11 e RA21 e RA3 e RA6, do município de Caldas da Rainha, ocupam, duas a duas, as mesmas células do modelo, pelo que os seus caudais de extracção foram somados, o que teve como resultado, para o primeiro par, $5.96 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ e para o segundo, $2.08 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$.

O balanço hídrico resultante desta simulação pode ser observado em Anexo com o nome “Balanço hídrico – Cenário 0”. Também a recta de calibração, o mapa de isopiezas e o mapa de vectores de fluxo podem ser vistos a seguir (Fig. 38 a 40).

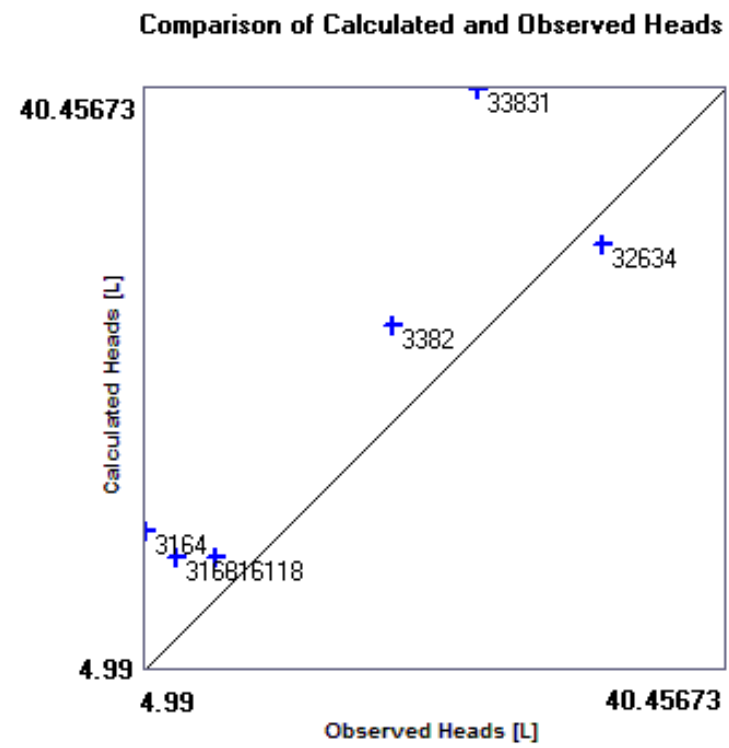


Fig. 38 – Recta de calibração relativa à simulação do Cenário 0.

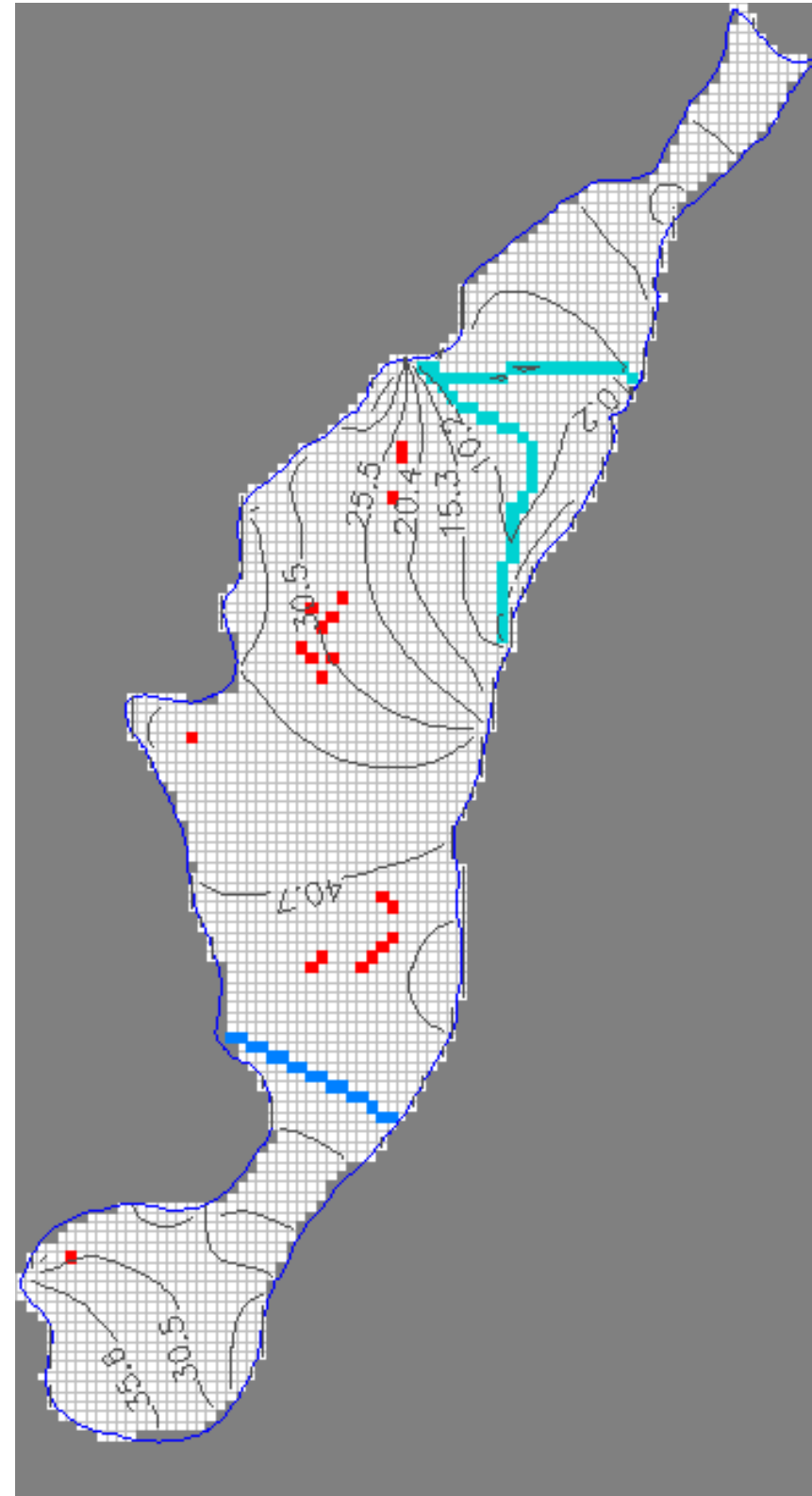


Fig. 39 – Mapa de isopiezas relativo ao Cenário 0.

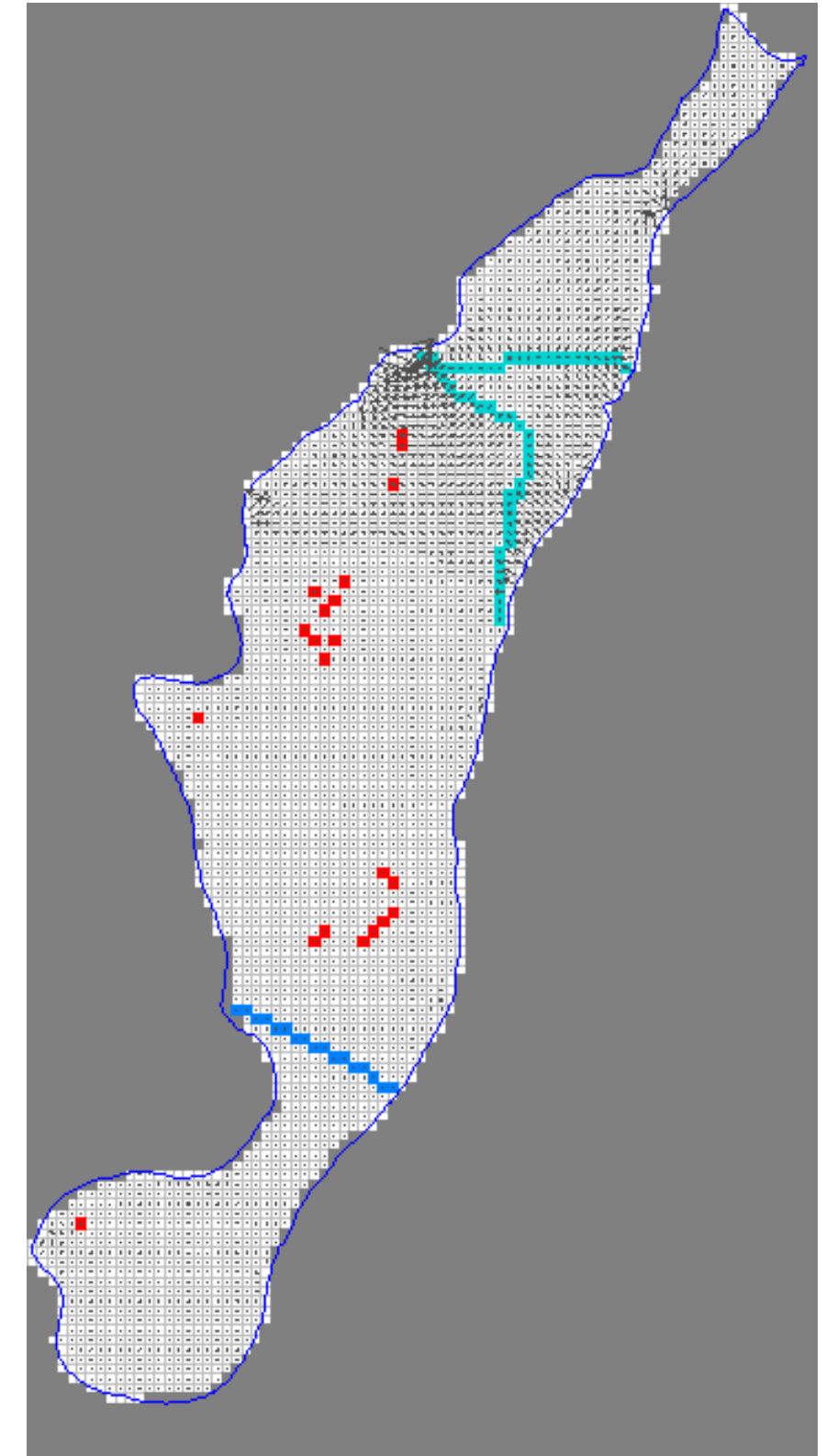


Fig. 40 – Mapa de vectores de fluxo relativo ao Cenário 0.

Nota: O traço grosso azul mais claro representa os rios através dos quais o aquífero perde água e o traço grosso azul mais escuro representa os rios através dos quais o aquífero ganha água. A vermelho temos os pontos de bombagem.

Fig. 38 a 40

IV.5 – Previsão

São agora formulados dois cenários de previsão, sendo um deles relativo ao reforço de exploração e outro relativo a contaminação. As simulações continuam a ser feitas em regime permanente.

IV.5.1 – Cenário 1

Neste cenário é simulado um reforço da extracção, o que é feito aumentando 1.5 vezes os valores referentes a cada captação (vd Tabela 8), mantendo-se as suas localizações.

O balanço hídrico resultante desta simulação pode ser observado em Anexo com o nome “Balanço hídrico – Cenário 1”. Também a recta de calibração, o mapa de isopiezas e o mapa de vectores de fluxo podem ser vistos a seguir (Fig. 41 a 43).

Seguidamente, e antes de prosseguirmos para a apresentação do Cenário 2, é ainda apresentada uma tabela que resume os resultados dos balanços hídricos levados a cabo pelo programa para as simulações com bombagem e sem bombagem. No primeiro caso são mostrados os resultados relativos à simulação 44, referente à calibração do coeficiente de drenância (sem recarga e só com o rio Arnóia), e à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual (com todos os rios). No segundo caso são mostradas as simulações relativas ao Cenário 0 e ao Cenário 1 (Tabela 9).

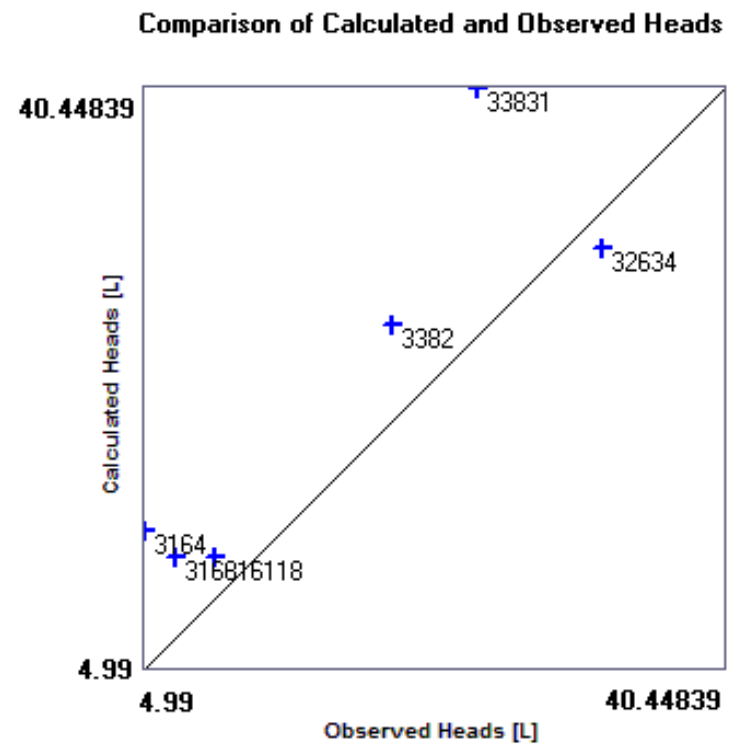


Fig. 41 – Recta de calibração relativa à simulação do Cenário 1.

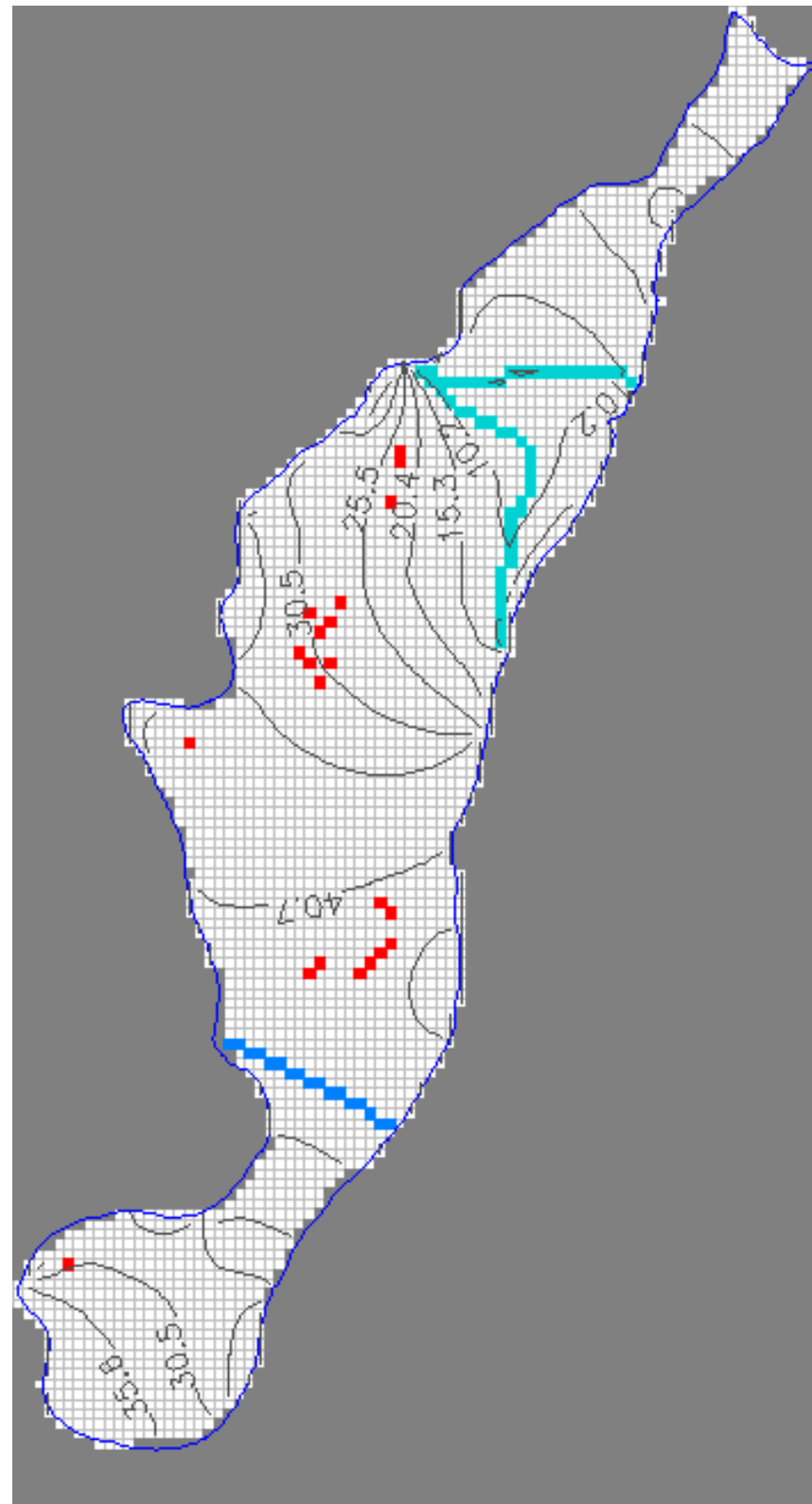


Fig. 42 – Mapa de isopiezas relativo ao Cenário 1.

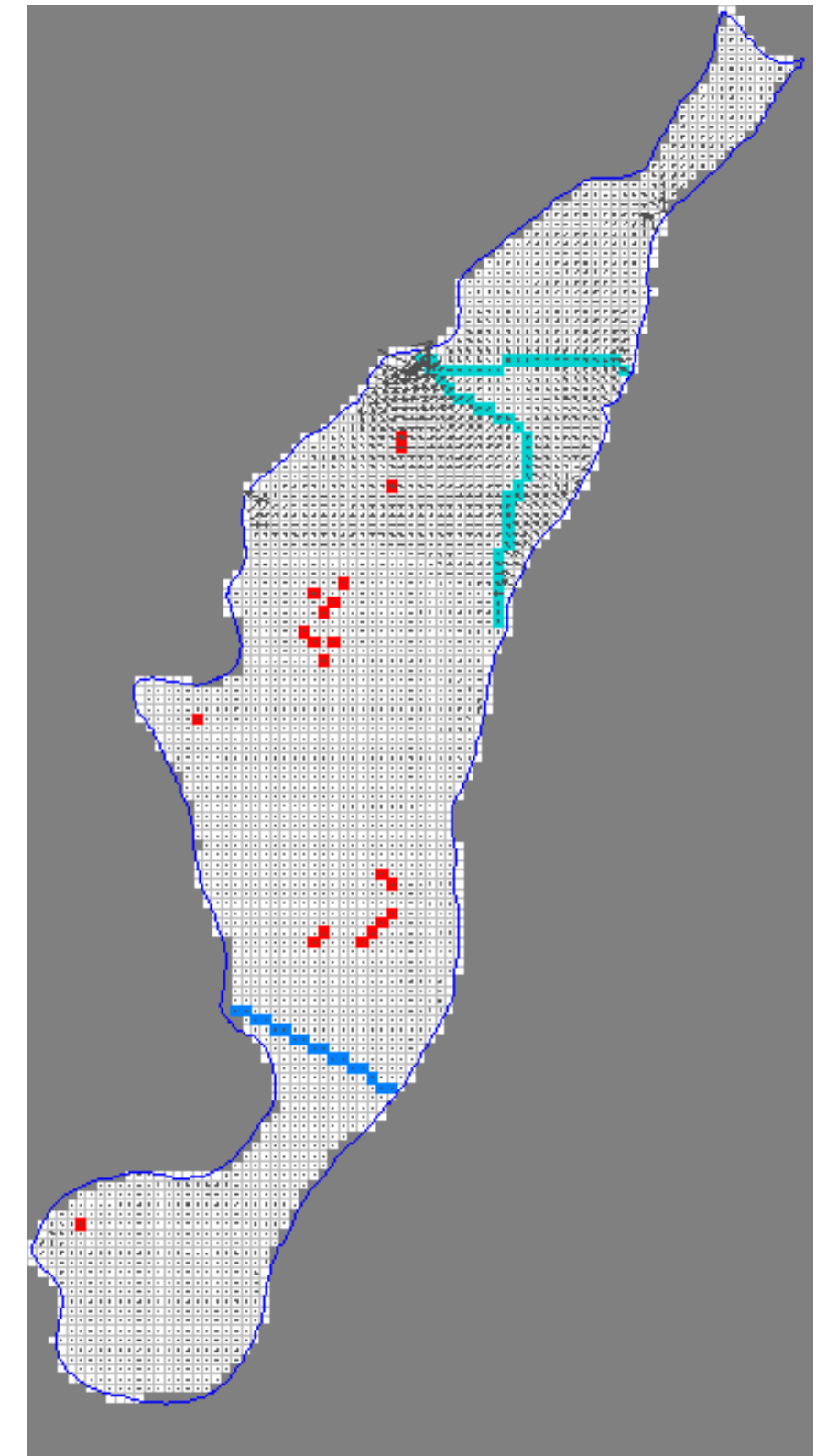


Fig. 43 – Mapa de vectores de fluxo relativo ao Cenário 1.

Nota: O traço grosso azul mais claro representa os rios através dos quais o aquífero perde água e o traço grosso azul mais escuro representa os rios através dos quais o aquífero ganha água. A vermelho estão representados os pontos de bombagem.

Fig. 41 a 43

Tabela 9 – Resumo dos resultados de balanço hídrico para as simulações mais importantes levadas a cabo.

Termo de fluxo	Sem bombagem						Com bombagem					
	Simulação 44			Recarga a 20%			Cenário 0			Cenário 1		
	Entrada	Saída	Saldo	Entrada	Saída	Saldo	Entrada	Saída	Saldo	Entrada	Saída	Saldo
Entradas e saídas	7.109E+01	7.143E+01	-3.399E-01	1.013E+02	6.042E+01	4.086E+01	1.015E+02	6.033E+01	4.122E+01	1.017E+02	6.028E+01	4.140E+01
Captações	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	4.046E-01	-4.046E-01	0.000E+00	6.070E-01	-6.070E-01
Rios	3.400E-01	0.000E+00	3.400E-01	3.400E-01	4.178E+01	-4.144E+01	3.400E-01	4.173E+01	-4.139E+01	3.400E-01	4.170E+01	-4.136E+01
Recarga	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	5.733E-01	0.000E+00	5.733E-01	5.733E-01	0.000E+00	5.733E-01	5.733E-01	0.000E+00	5.733E-01
Total	7.143E+01	7.143E+01	1.450E-04	1.022E+02	1.022E+02	1.450E-04	1.025E+02	1.025E+02	8.392E-05	1.026E+02	1.026E+02	1.450E-04

Nota: Todos os valores estão expressos em m³/s.

Tabela 9
 Resumo dos resultados de balanço hídrico para as simulações mais importantes levadas a cabo.

IV.5.2 – Cenário 2

Desta vez, simula-se uma descarga permanente de um contaminante a partir de uma fonte de poluição. Para isso, recorreremos ao módulo ASMWALK, uma ferramenta do programa ASMWIN, que usa partículas traço para descrever o transporte de contaminantes e que usa um factor de retardação, dispersividade (longitudinal e transversa) e taxa de decaimento do coeficiente de difusão molecular. Assim, introduzimos uma massa de 1Kg constituída por 100 partículas, sendo que cada partícula terá então uma massa de 10g. A dispersão é modelada impondo ao movimento das partículas um percurso aleatório que corresponde às propriedades do processo dispersivo. Considerando muitos percursos de partículas, obtém-se uma nuvem dispersiva de partículas. A distribuição da concentração é obtida contando o número de partículas por célula, e dividindo a massa resultante pelo volume contido numa célula.

A previsão é feita para um cenário de 120 dias, com um passo de 86400 s, que é o número de segundos existentes num dia, com dispersividades longitudinal e transversal de 50m e 5m, respectivamente, coeficiente de difusão molecular e taxa de decaimento nulos, e um factor de retardação igual a 1.

Inseriu-se o ponto de injeção do poluente na célula (40,42). Foram ainda inseridos três pontos de observação, com coordenadas matriciais de (41,41), mais perto da fonte de poluição, (44,40), sobre o rio Tornada e (45,38), sobre o rio Alfeizerão (Fig. 44).

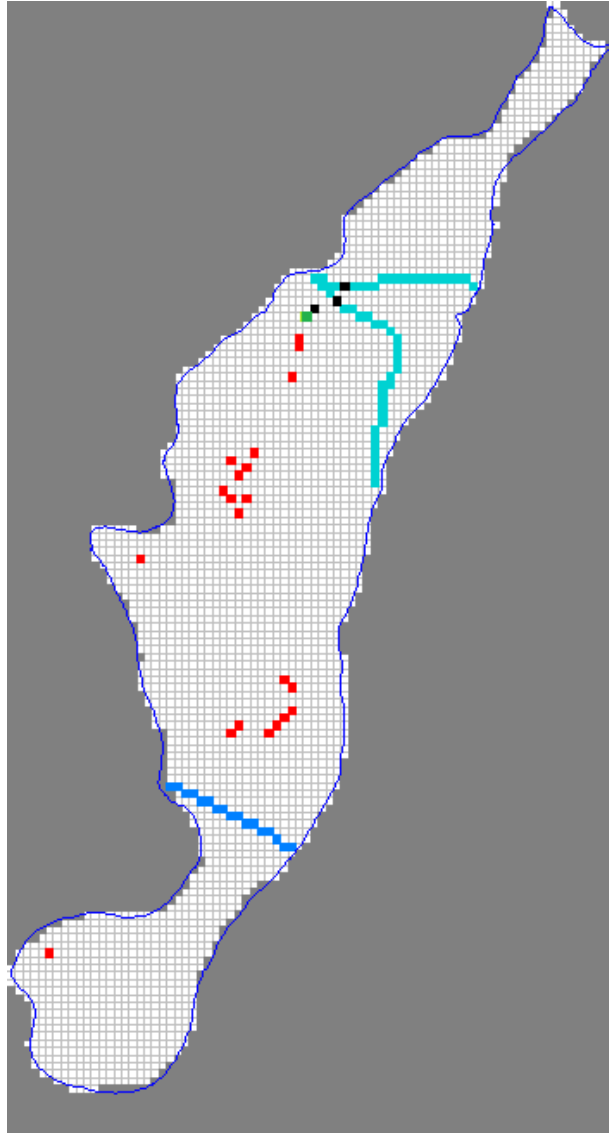


Fig. 44 – Localização na malha, dos intervenientes na simulação de previsão.

Nota: O ponto verde é o ponto de injeção do poluente e os pontos a preto são os de observação.

Os resultados obtidos para a dispersão da mancha de poluente no tempo são mostrados na Figura A8, em Anexo. Pode-se ainda observar o gráfico tempo versus concentração de partículas em cada um dos pontos de observação, na Fig. 45.

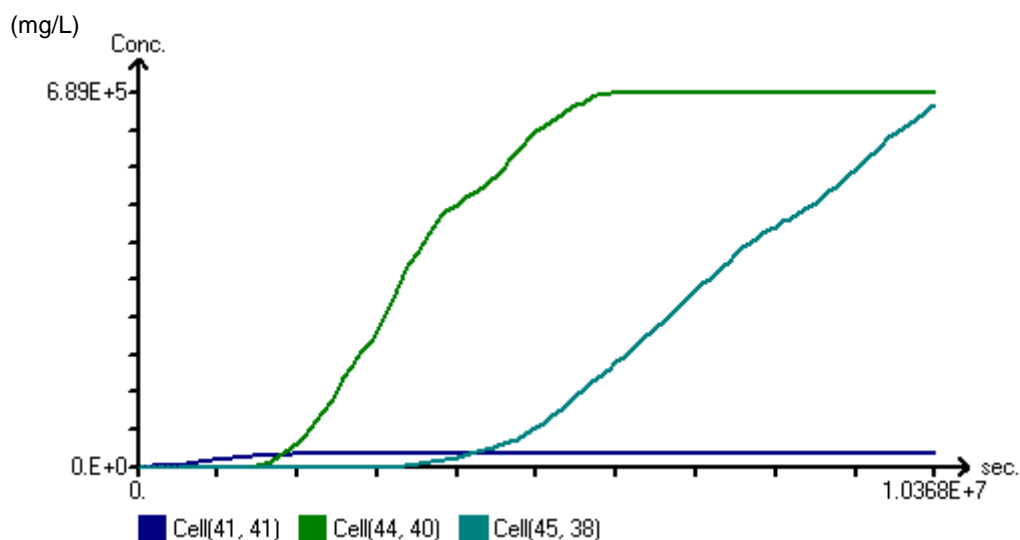


Fig. 45 – Gráfico representativo da concentração em função do tempo, em cada um dos três pontos de observação (para 100 dias).

Nota: Cada divisão na escala do eixo do tempo corresponde a 10 dias.

IV.6 – Discussão de resultados

Começamos por analisar a calibração do valor de drenância. Ao observarmos o balanço hídrico referente a esta simulação na Tabela 9, percebemos que, no Verão, o rio Arnóia alimenta o aquífero.

Seguidamente, se analisarmos o balanço relativo à simulação com recarga a 20% da precipitação média anual (última simulação com o modelo finalmente calibrado, ou seja, uma situação generalizada mas ainda sem bombagem) (Tabela 9), vemos que o rio Arnóia continua a alimentar o aquífero, ao contrário dos rios Tornada e Alfeizerão, que são eles alimentados pelo aquífero.

De facto, se observarmos a Fig. 5, vemos que, no período a que se refere (1977 a 1980), houve uma diminuição global do caudal daquele rio, que está relacionada com a precipitação, como foi visto. Também nos meses de Verão, de 1978 a 1980, como se pode observar na Tabela 3, a diminuição de caudal de ano para ano parece estar associada à diminuição de precipitação. No entanto, a quantidade de precipitação pode não ser a única causa para a diminuição de caudal, embora se admita que é a principal. Uma outra causa poderia ser a realização de captações sobre o aquífero, que, embora tenha ocorrido em maior escala durante os anos 90 (Tabela A6, em anexo), também aconteceu naquela altura, segundo os dados da ARH do Tejo sobre captações municipais não inventariadas situadas no aquífero e que já não estão sequer em funcionamento.

Em relação ao balanço global referente aos rios, o valor é negativo, sendo o aquífero que, globalmente, alimenta os rios.

Ainda, se compararmos as isopiezas resultantes dessa simulação, com aquelas correspondentes aos valores medidos nas estações de piezometria (secção III), vemos que a sua forma coincide no geral, embora os valores da simulação sejam superiores. Se compararmos também com o resultado da inserção da bombagem (Cenário 0), observamos que continua a não haver uma alteração significativa destas linhas.

Por outro lado, se comparamos o balanço hídrico resultante do quadro sem bombagem (recarga a 20%), com o do Cenário 0, vemos que, ao incluir bombagem, o aquífero até perde menos água globalmente, uma vez que há menos saída através dos rios e através das condições fronteira (linha “entradas e saídas” na Tabela 9). No entanto, se aumentarmos a bombagem, o aquífero volta a ter um menor saldo global, muito similar, até, ao balanço global sem bombagem.

Outro ponto interessante é que, voltando à interação rios/aquífero, se observarmos os valores do balanço referentes aos rios, para os cenários de bombagem, notamos que o aquífero continua a alimentar os rios.

Ainda muito importante é o facto de, comparando o balanço hídrico do Cenário 0 com o do Cenário 1, as alterações serem pouco significativas, passando o saldo global de $8.392 \times 10^{-05} \text{ m}^3/\text{s}$ para $1.450 \times 10^{-04} \text{ m}^3/\text{s}$. No entanto, o aquífero cede menos água aos rios Tornada e Alfeizerão, ainda que pouco significativamente.

Finalmente, em relação ao Cenário 2 (contaminação), analisando o gráfico da Fig. 45, vemos que o ponto de observação (41,41), devido à sua proximidade à fonte de poluição, demora pouco mais de 5 dias a ficar contaminado. Quanto ao ponto de observação (44,40), situado no rio Tornada, são necessários 15 dias para ser contaminado. Finalmente, o ponto (45,38), situado no rio Alfeizerão, é contaminado aproximadamente 33 dias depois da injeção do contaminante.

V – Conclusões

A conclusão mais importante afigura-se como aquela relacionada com o aumento de extracção. De facto, e visto os resultados pouco significativos associados a esse aumento, o aquífero é capaz de suportar e garantir a utilização de uma maior quantidade de água.

Também concluímos a importância da interacção rios/aquífero. Esta pode ser alterada conforme os caudais extraídos. Como vimos através da modelação, os rios são alimentados, no seu geral, pelo aquífero, à excepção do Arnóia, que alimenta ele próprio o aquífero. Assim, em relação à gestão da água no aquífero, no que toca às captações, conclui-se que a extracção poderá influenciar o caudal do rio Arnóia. Por outro lado, em relação à poluição, uma má qualidade da água do Arnóia levará a uma entrada de poluentes no aquífero, diminuindo a qualidade das águas deste último.

Ainda, em relação ao facto de o aquífero poder suportar uma maior extracção, devemos sempre ter em conta que isso também poderá afectar a quantidade de água que ele cede aos rios Tornada e Alfeizerão, sendo então muito importante saber exactamente o quanto podem estes rios ser afectados. Note-se que o desaparecimento da água nos rios tem consequências ambientais graves.

Podemos facilmente concluir também que, visto o aquífero alimentar os rios Tornada e Alfeizerão, a qualidade da água do aquífero influencia a qualidade da água destes rios, sendo que, episódios de contaminação do aquífero acabarão por fazer chegar também aos rios os poluentes. Note-se também que o ponto de observação que não está situado nos rios, usado na simulação de contaminação, pode coincidir com uma captação. Visto existirem tantas captações particulares legalizadas e também não legalizadas, facilmente podemos relacionar este cenário hipotético com a realidade.

Ainda, o escoamento é também feito através das fronteiras do aquífero, entrando água preferencialmente de nascente para poente, sendo que focos de poluição nas vizinhanças a leste deste também o poderão afectar.

Face às conclusões sobre o escoamento do aquífero, previamente apresentadas, há que interpretar ambientalmente o seu significado. De facto, há que, por um lado, proteger especialmente o rio Arnóia de descargas de efluentes, nomeadamente no que toca à pecuária que, como é mencionado na secção II.1, é uma das actividades económicas mais fortes na região. Refira-se, no entanto, que o PROT OVT prevê já a garantia do bom estado ecológico das massas de água e dos ecossistemas ribeirinhos dos cursos de água estudados.

Por outro lado, também o aquífero deve ser protegido de eventuais focos de contaminação, como fugas de contaminantes em aterros sanitários, bombas de gasolina, cemitérios, etc., tanto sobre si próprio mas também nas vizinhanças a nascente, e não só nas zonas circundantes às captações. Isto porque, não só é uma fonte de abastecimento de água para consumo humano, mas também porque, no caso dos rios Tornada e Alfeizerão, é seu fornecedor de água. Estas linhas de água desaguam na baía de S. Martinho do Porto, importante centro balnear e parte dos planos turísticos para a região. Ou seja, uma diminuição da qualidade da água no aquífero levará a uma diminuição da qualidade das águas da baía, podendo mesmo influenciar a saúde de quem frequenta aquela conhecida praia.

Ainda, a atractividade residencial já mencionada, e os aumentos populacionais dos meses de Verão, poderão levar a um aumento do consumo de água, o que deve também ser ponderado com muito cuidado, uma vez que o aumento de extracção influencia toda a dinâmica do sistema aquífero/rios/vizinhanças, tanto em relação à quantidade de água disponível como em relação ao escoamento de poluentes.

Assim, todos os planos regionais de desenvolvimento não poderão fazer sentido se não for tida em conta a importância deste aquífero para a qualidade de vida dos habitantes da região e dos que a visitam, e também para a sustentabilidade de quaisquer que sejam as apostas económicas e linhas estratégicas de desenvolvimento regionais. Face a tantas esperanças no futuro, deverá ser feita então uma análise de impactes cumulativos sobre este recurso, de modo a que se possam articular de forma sustentável as tão diferentes linhas de desenvolvimento. A alteração da quantidade de água usada, aliada a focos de contaminação ou contaminação difusa, combinados ainda com a alteração da qualidade da água dos rios, poderá ser fruto de tantos cenários reais quantos possíveis, cenários esses que abrangem comunidades não só locais, mas também regionais, quase sempre como consequência de acções e políticas estabelecidas pelo Homem. Embora os cenários usados neste trabalho sejam do foro hipotético, o modelo poderá então ser usado nessa análise de impactes cumulativos sobre o aquífero, recorrendo à construção de cenários verdadeiros.

No entanto, e como vimos, este estudo, no que toca à caracterização da extracção, não conseguiu reunir todos os actuais dados, podendo os resultados ser um pouco diferentes caso se incluíssem os dados referentes ao município de Alcobaça e às captações privadas, nomeadamente as usadas para fins agrícolas, devido precisamente à evolução da agricultura na região.

De facto, já Almeida et al (2000) sugeria que o consumo para agricultura e indústria seria aproximadamente igual ao de abastecimento público, por não estarem disponíveis dados referentes a estes sectores nessa altura. Embora continuemos sem conhecer esses dados, o cenário deverá ter-se alterado já que, no caso da agricultura, pode ter aumentado o consumo e, no caso do abastecimento público, pode ter diminuído, uma vez que a nova gestão do abastecimento multimunicipal na região Oeste, feita através da empresa Águas do Oeste,

abastece os reservatórios municipais a partir de águas vindas de fora da região, funcionando as captações municipais como reforço ao abastecimento em muitos casos. No entanto, como já foi dito também, se está a haver um aumento de população, o consumo pode até ter aumentado ou vir a aumentar. Recomenda-se assim que seja levado a cabo um estudo mais elaborado, de modo a aferir quais os reais valores de extracção.

Também é recomendável estudar o impacte ambiental sobre o aquífero da mencionada alteração do tipo de exploração agrícola dos solos e da sua influência na alteração da qualidade da água. É também importante conhecer o tipo e a localização das fontes de poluição, de modo a poder construir bons cenários de previsão.

Seria ainda interessante um estudo mais aprofundado sobre as captações realizadas ao longo do tempo, sua localização, e a comparação com o caudal dos rios no mesmo período de modo a perceber em que real medida a bombagem afecta os caudais dos rios. Depois poder-se-ia confrontar estes resultados com resultados obtidos por meio do modelo construído.

Todos estes estudos poderão recorrer ao modelo construído, como ferramenta de previsão, sendo esse o seu grande propósito: contribuir para a tomada de decisão mediante a aferição do comportamento do escoamento para qualquer tipo de cenário.

É ainda importante referir que o planeamento territorial deverá passar pela aceitação da importância do aquífero, que é já tida em conta no PROT OVT, mas que não pode ser esquecida na posterior elaboração dos planos municipais e intermunicipais de ordenamento do território. Assim, o presente modelo poderá constituir uma mais-valia na aplicação do PROT OVT, por exemplo nos processos de estudo, planeamento e concertação supramunicipal no que se refere à delimitação das áreas de vocação turística e respectiva avaliação ambiental, levados a cabo pelos municípios.

Os resultados apresentados pelo presente estudo mostraram como as acções sobre o território e, logo, o planeamento do território, se relacionam com o aquífero e por isso fica demonstrada a sua utilidade como ferramenta de apoio ao planeamento territorial. Fica também clara a importância da interacção rios/aquífero e de toda a dinâmica a eles associada, o que revela o potencial deste estudo face à gestão ambiental.

Finalmente, embora o objectivo principal do presente estudo tenha sido alcançado, que era a construção de um modelo que permitisse caracterizar o escoamento no aquífero para assim poder recriar cenários de contaminação ou de diferentes parâmetros de extracção, fica ainda assim uma crítica ao trabalho.

A recolha de dados acabou por constituir a mais longa etapa do trabalho, seja pelo facto de ser necessário o contacto com diversas entidades, dispersas geograficamente e algumas das quais muito lentas na resposta ou burocraticamente complicadas (como por exemplo as

Câmaras Municipais de Alcobaça e do Bombarral que se mostraram sempre indisponíveis para contacto e a empresa Águas do Oeste, entidade responsável pelo abastecimento de água na região Oeste, que nunca chegou a responder aos pedidos de dados) seja pelo facto de os dados muitas vezes não estarem inventariados ou facilmente acedíveis, sendo necessário recolhê-los pessoalmente (como no caso da digitalização dos logs litológicos na ARH do Tejo), ou serem mesmo inexistentes, tendo-se recorrido a pesquisas mais aprofundadas ou verificações locais, que ainda assim por vezes não surtiram efeito. Assim, este longo período de recolha de dados, muito dispersos e em número elevado, acabou por não permitir uma demonstração mais aprofundada no que toca aos cenários de previsão patentes no trabalho.

No entanto, e como já foi dito, o modelo encontra-se pronto para ser usado em quaisquer estudos que desejem criar cenários de previsão mais elaborados, seja qual for a sua finalidade. Ou seja, outros passos poderão e deverão agora ser dados.

Bibliografia

Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M., Gomes, A. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Instituto da Água, Portugal.

Alves, B., Sousa, A. (2005) Estudo sobre o Rio Arnóia. Disponível na página:
<http://www.cienciaviva.pt/rede/upload/aguagrupo4.pdf>

Assembleia da República (2005) Seca em Portugal Continental. Disponível na página:
<http://www.inag.pt/inag2004/port/divulga/actualidades/seca/relatorios/RelatorioParlamento.pdf>

Programa territorial de desenvolvimento do Oeste (2008) Associação de Municípios do Oeste, Oeste, Portugal.

Botelho, F. (2003) A Lagoa de Óbidos, Passado, presente e futuro, Seminário de Geografia Física. Instituto de estudos geográficos da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Chiang, W, Kinzelbach, W., Rausch, R. (1998) Aquifer Simulation Model for Windows. Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Estugarda, Alemanha.

Fialho, A. (2007) Caracterização piezométrica do sistema aquífero Estremoz–Cano utilizando métodos geomatemáticos. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Henriques, V. (2005) Enquadramento geográfico da região de S. Martinho do Porto. A Baía de S. Martinho do Porto – Aspectos geográficos e históricos 17:33. Edições Colibri, Lisboa, Portugal.

Inquérito à estrutura das explorações agrícolas 2005 (2006) Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal.

Lencastre, A., Franco, F. (1992) Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal.

Mira, J. (1999) Síntese Hidrogeológica do Concelho de Caldas da Rainha. Universidade de Évora, Évora, Portugal.

Partidário, M. R. (2008) Impactes cumulativos, 5ª aula. Textos de apoio à cadeira de Impactes Ambientais. Mestrado em Engenharia do Ambiente, 2º ano, 1º semestre. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo (2009) Diário da República, 1ª Série, nº151, de 6 de Agosto. Assembleia da República, Portugal.

Ribeiro, L. (2008) Águas subterrâneas – Conceitos e métodos. Textos de apoio à cadeira de Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas. Mestrado em Engenharia do Ambiente, 2º ano, 1º semestre. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Silva, C., Alarcão, A., Cardoso, A. (1961) A região a Oeste da Serra dos Candeeiros. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.

ANEXOS

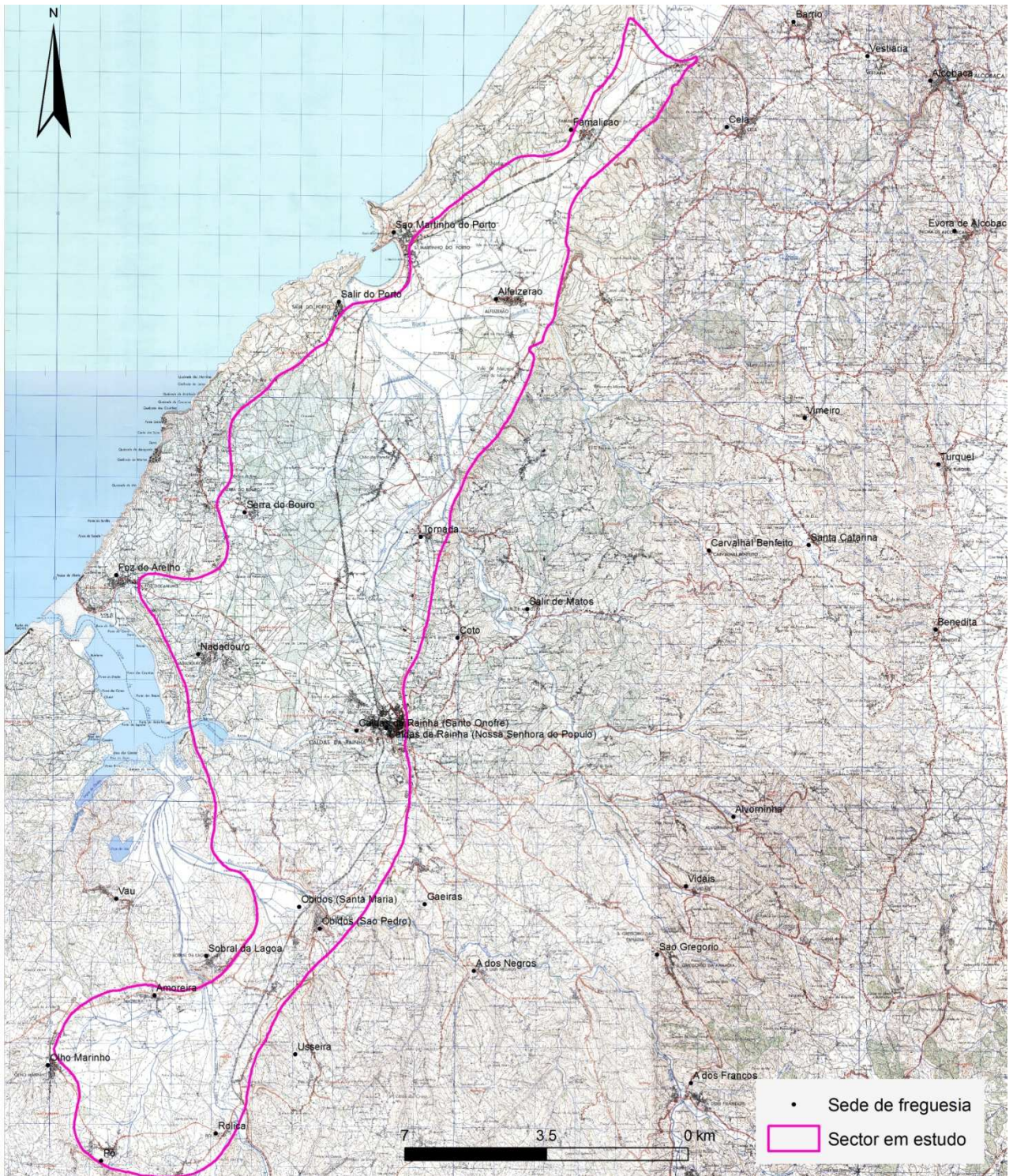


Fig. A1 – Composição de cartas militares enquadrando o aquífero estudado.

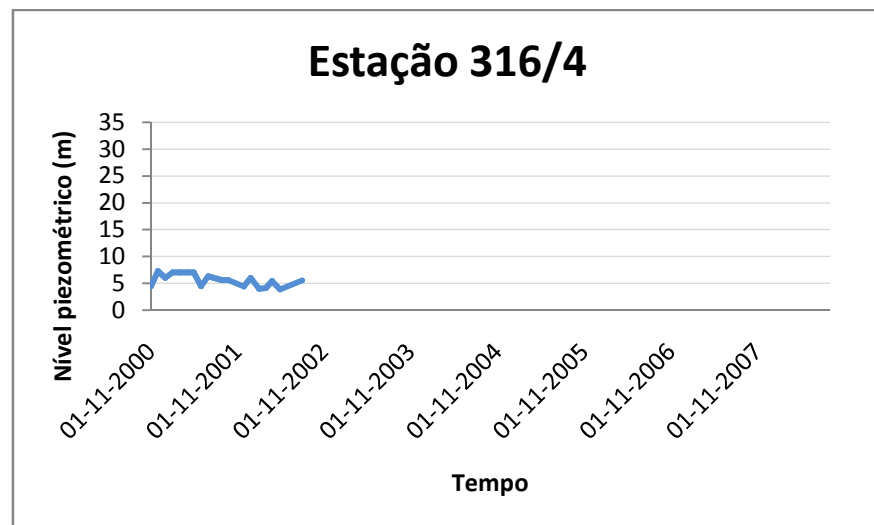


Fig. A2 – Variação temporal da piezometria na estação 316/4.

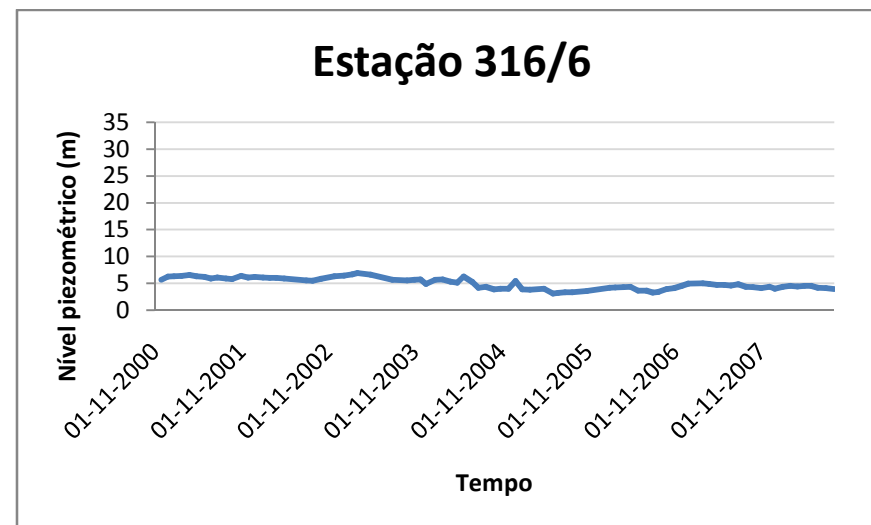


Fig. A3 – Variação temporal da piezometria na estação 316/6.

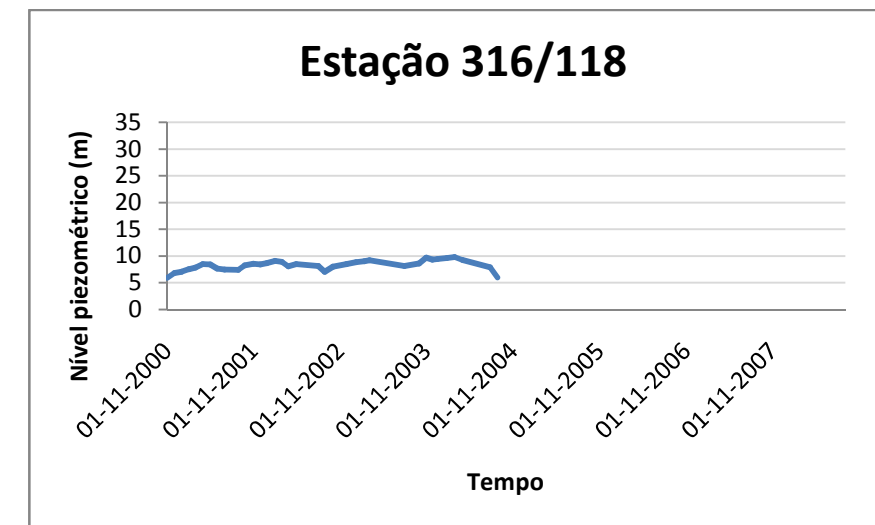


Fig. A4 – Variação temporal da piezometria na estação 316/118.

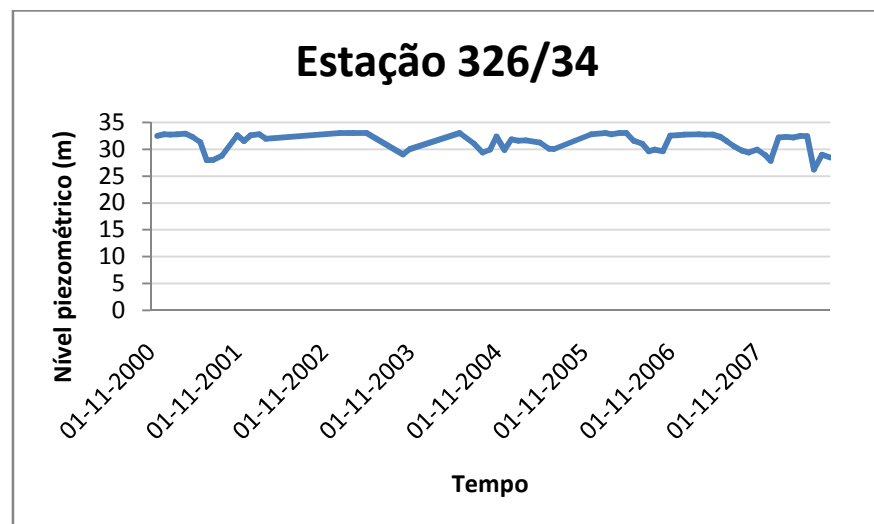


Fig. A5 – Variação temporal da piezometria na estação 326/34.

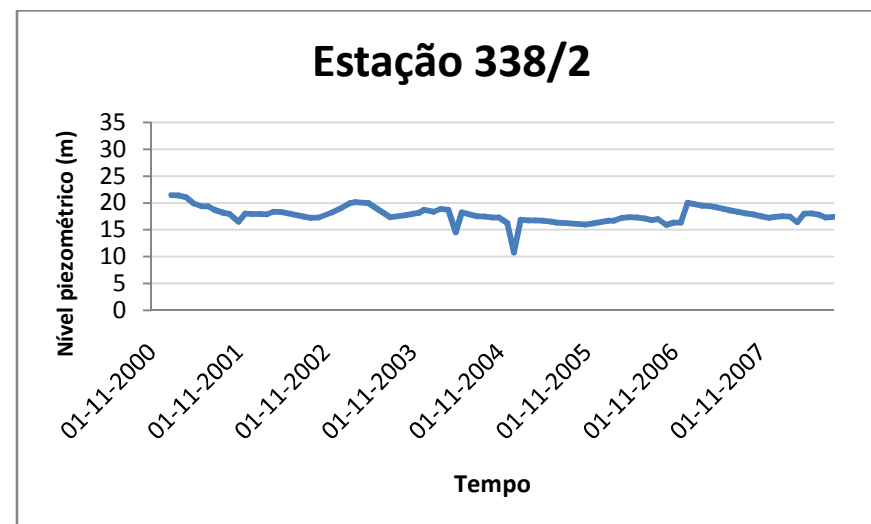


Fig. A6 – Variação temporal da piezometria na estação 338/2.

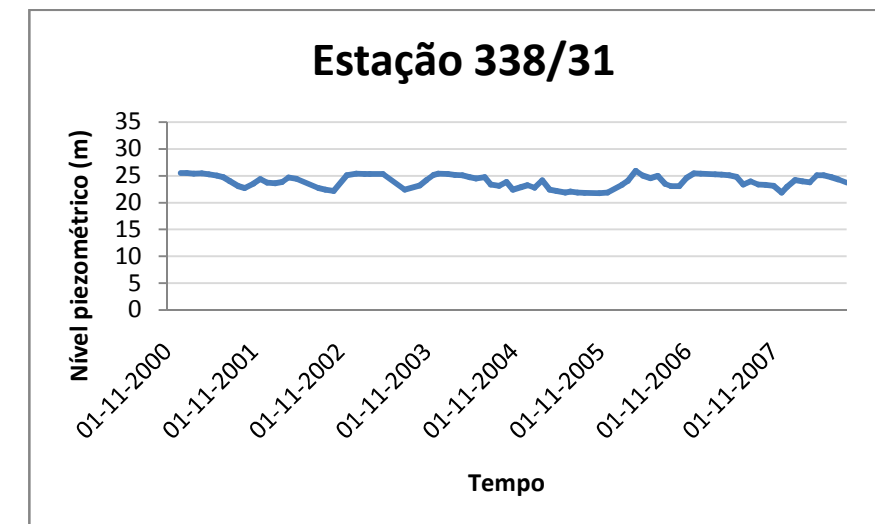
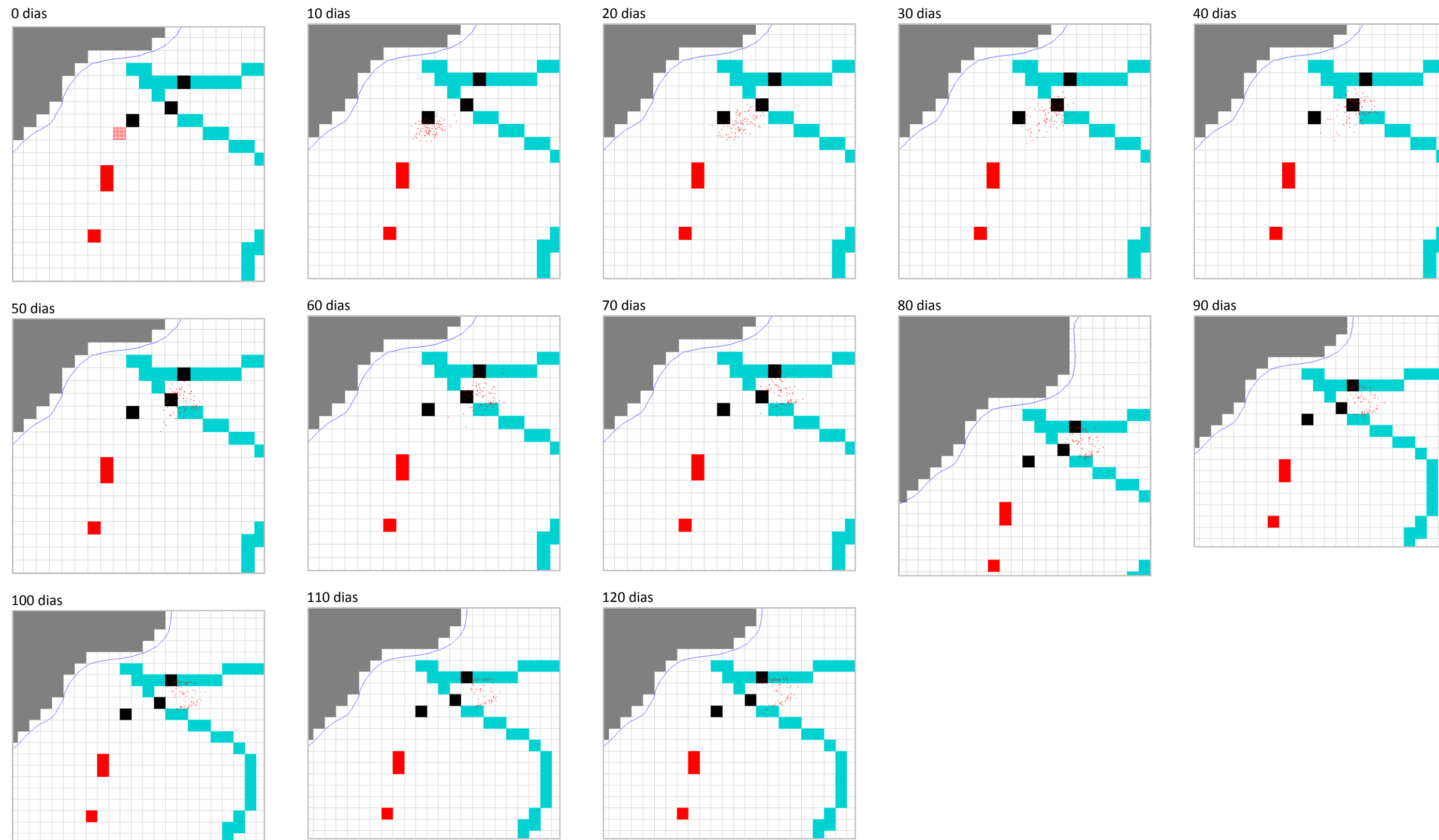


Fig. A7 – Variação temporal da piezometria na estação 338/31.

Fig. A2 a A7
 Variação temporal da piezometria,
 nas estações piezométricas
 seleccionadas.



Nota: Aos zero dias, o quadrado preenchido com pontos vermelhos corresponde ao ponto de injeção de poluente, a verde, na Fig. 44.

Fig. A8
Evolução temporal da mancha de contaminação (Cenário 2)

Tabela A2 - Precipitação mensal na estação de Alfeizerão,
no período de Outubro de 1977 a Junho de 1980.

Data	Precipitação mensal (mm)
01-10-1977	194.40
01-11-1977	116.30
01-12-1977	194.70
01-01-1978	108.00
01-02-1978	158.30
01-03-1978	68.70
01-04-1978	95.70
01-05-1978	67.20
01-06-1978	28.60
01-07-1978	0.00
01-08-1978	0.00
01-09-1978	28.80
01-10-1978	62.80
01-11-1978	74.90
01-12-1978	362.60
01-01-1979	120.00
01-02-1979	212.40
01-03-1979	155.10
01-04-1979	60.90
01-05-1979	24.10
01-06-1979	24.90
01-07-1979	4.70
01-08-1979	2.00
01-09-1979	6.70
01-10-1979	307.00
01-11-1979	51.60
01-12-1979	111.00
01-01-1980	60.20
01-02-1980	55.10
01-03-1980	43.60
01-04-1980	23.70
01-05-1980	74.80
01-06-1980	13.50

Fonte: SNIRH

Tabela A3 - Dados das captações dos S. M. das Caldas da Rainha (cont.).

Parâmetros hidráulicos			Camadas Aquíferas
Q. esp (l/s)	T (m ² /d)	K (m/d)	
3.53	371.9	5.6	areias com seixos (livre)
0.93	97.9	2	areias finas a grossas com seixos (livre)
2.54	268.0	5.3	areias finas a médias com seixos (livre)
1.72	181.5	3.4	areias finas (livre)
3.13	329.4	4.8	areias finas a grossas com seixos (confinado)
5.20	547.9	5.9	areias finas a grossas com seixos (livre?)
2.18	230.1	3.8	areias finas a médias (confinado)
2.63	277.4	4.8	areias finas a grosseiras (confinado)
0.95	100.6	3.4	areias finas com seixos (livre/semiconfinado)
0.90	94.9	3.2	areias finas com seixos (livre/semiconfinado)
2.01	211.6	3.5	areias finas a grosseiras com seixos (livre)
1.04	109.5	3.4	areias finas a médias com seixos (confinado)
2.84	299.7	4.3	areias finas (livre)
1.63	171.9	2.8	areias finas (confinado)
2.30	242.2	5.4	areias finas (livre)
2.52	265.5	3	areias finas a grosseiras (livre/confinado?)
0.23	23.8	0.6	areias (confinado)
1.37	144.5	6.6	areias finas (livre/confinado?)
1.58	418.3	11.6	areias finas a grosseiras com seixos (confinado)
1.41	148.5	6.7	grés fino a médio (confinado)
1.75	184.2	5.4	grés fino a médio com seixos (confinado)
0.10	10.5	0.6	grés calcário, margas e arenitos (confinado)
0.05	4.8	0.03	grés calcário e margas gresosas (confinado)
0.05	5.8	0.06	margas gresosas e grés (confinado)
0.10	10.5	0.1	grés fino a grosseiro com seixo (confinado)
0.29	30.9	0.7	calcários fracturados e arenitos (confinado)
0.11	12.1	0.3	arenitos por vezes carbonatados (confinado)
0.03	3.6	0.03	arenito e arenito carbonatado (confinado)
0.05	5.3	0.04	grés e calcário gresoso margoso (confinado)
0.25	26.2	0.4	arenito carbonatado (confinado)
0.09	9.9	0.2	arenito grosseiro e arenitos carbonatados (confinado)
0.18	19.4	0.3	arenito carbonatado (confinado)
0.11	11.6	0.1	arenito e arenito carbonatado (confinado)
0.76	80.6	0.7	arenito e arenito grosseiro (confinado)
0.18	19.1	0.4	arenito médio a grosseiro (confinado)
0.09	9.4	0.4	arenito argiloso e carbonatado (confinado)
0.27	28.7	0.2	arenito fino a grosseiro com seixo (confinado)
0.10	10.6	0.1	arenito, por vezes margoso (confinado)
0.17	18.1	0.2	arenito argiloso e calcário (confinado)

Tabela A7 - Profundidade das Margas da Dagorda, para logs litológicos situados na secção em estudo.

Nome do log	M (m)	P (m)	Profundidade das margas (m)	Cota (m)
023-03-POO.pdf	108290	260560	65.00	47.00
316 006_0001.pdf	119780	287620	100.00	
316 017_0001.pdf	119230	287430	42.00	
316 118_0001.pdf	116260	283370	74.00	10.00
316 167_0001.pdf	118014	285485	42.00	39.00
326 030.pdf	111240	275340	126.50	30.00
326 106.pdf	111160	275860	119.00	25.00
326 116.pdf	112480	270930	77.50	35.00
326 125.tif	113380	270550	95.00	48.00
326 136.pdf	112480	270900	98.60	30.00
326 137.pdf	112360	271000	33.60	30.00
326 138.pdf	111600	276880	129.00	17.00
326 144_0001.tif	111320	273520	55.50	40.00
326 173_0001.pdf	113400	273630	49.00	27.00
326 234_0001.pdf	113560	273370	75.00	50.00
338 015_0001.pdf	111270	269620	30.00	
338 017_0001.pdf	112370	269870	50.00	
338 037_0001.pdf	112420	269910	75.00	
338 228_0001.pdf	109138	261345	3.00	0.00
338 242_0001.pdf	110610	269522	78.00	32.00
bombarral ps2_0001.pdf	111950	260050	81.00	120.00
obidos jk6_0001.pdf	107138	263893	4.50	
obidos jk6a_0001.pdf	107201	263741	16.00	
obidos jk7.pdf	109009	265600	21.70	

Fonte: ARH do Tejo.

Nota: Ao ser feita a digitalização dos logs litológicos relativos a captações não inventariadas pela ARH Tejo, não foi tida em especial atenção a recolha da cota respectiva, por falta de tempo. Assim, a tabela encontra-se incompleta relativamente às cotas destas captações.

Tabela A9 - Nível piezométrico na estação 326/36 e precipitação mensal na estação Alfeizerão.

Mês-Ano	Nível piezométrico (m)		Precipitação Mensal (mm)	
	Estação 326/36		Estação Alfeizerão	
Mar-86	13.89		38.70	
Abr-86	14.27		92.20	
Mai-86	13.97		18.20	
Jun-86	13.78		14.30	
Jul-86	13.62		0.00	
Ago-86	13.5		2.40	
Set-86	12.36		72.80	
Out-86	13.24		36.10	
Nov-86	12.87		110.30	
Dez-86	13.46		71.60	
Jan-87	13.8		136.80	
Fev-87	13.84		122.60	
Mar-87	13.775		63.30	
Abr-87	13.71		90.50	
Mai-87	13.775		0.50	
Jun-87	13.84		31.20	
Jul-87	13.69		2.70	
Ago-87	13.52		21.30	
Set-87	13.57		81.70	
Out-87	13.82		211.90	
Nov-87	14.28		77.40	
Dez-87	14.48		148.40	
Jan-88	14.47		169.50	
Fev-88	14.81		57.90	
Mar-88	14.69		9.80	
Abr-88	14.585		77.80	
Mai-88	14.48		113.00	
Jun-88	14.43		77.50	
Jul-88	14.52		40.50	
Ago-88	14.21		0.00	
Set-88	13.98		6.00	
Out-88	13.88		107.50	
Nov-88	14.14		63.50	
Dez-88	14.22		16.80	
Jan-89	14.06		42.50	
Fev-89	14.15		103.20	
Mar-89	14.32		84.10	
Abr-89	14.45		108.10	
Mai-89	14.44		79.00	
Jun-89	14.24		0.00	
Jul-89	13.92		1.50	
Ago-89	13.79		3.50	
Set-89	13.71		7.50	
Out-89	13.65		121.50	
Nov-89	13.94		226.00	
Dez-89	14.8		278.50	
Jan-90	14.85		157.10	
Fev-90	14.98		41.00	
Mar-90	14.77		13.50	
Abr-90	15.07		123.50	
Mai-90	14.73		26.00	
Jun-90	14.43		5.00	
Jul-90	14.3		13.50	
Ago-90	13.83		3.30	
Set-90	13.9		26.30	
Out-90	13.88		220.50	
Nov-90	14.5		87.10	
Dez-90	14.57		93.10	
Jan-91	14.8		84.80	
Fev-91	14.81		113.50	
Mar-91	15.08		149.80	
Abr-91	14.8		14.10	
Mai-91	14.53		1.50	
Jun-91	14.2		4.10	
Jul-91	13.96		3.00	
Ago-91	14.05		38.70	
Set-91	13.94		46.80	
Out-91	14.04		105.60	
Nov-91	14.16		83.40	
Dez-91	14.28		39.20	
Jan-92	14.16		48.00	
Fev-92	14.13		26.00	
Mar-92	14.1		29.30	
Abr-92	14.27		63.60	
Mai-92	13.94		41.70	
Jun-92	14.14		59.90	
Jul-92	13.87		0.90	
Ago-92	13.56		17.70	
Set-92	13.63		48.50	
Out-92	13.7		70.80	
Nov-92	13.9		25.80	
Dez-92	13.93		55.00	
Jan-93	13.77		27.70	
Fev-93	13.73		35.70	
Mar-93	13.73		37.60	
Abr-93	13.6		117.20	
Mai-93	13.69		100.20	
Jun-93	13.69		16.40	
Jul-93	13.39		1.50	
Ago-93	12.75		9.30	
Set-93	12.89		110.20	
Out-93	13.4		199.70	
Nov-93	14.32		175.60	
Dez-93	14.54		32.40	
Jan-94	14.76		102.90	
Fev-94	14.64		133.10	
Mar-94	14.59		22.50	
Abr-94	14.54		36.40	
Mai-94	14.32		174.20	

Observação:

Nas células assinaladas a cinzento claro foi calculada a média entre os dois valores adjacentes, uma vez que os valores nessas células estavam em falta.

Tabela A9
Nível piezométrico na estação
326/36 e precipitação mensal
na estação Alfeizerão.

Tabela A10 - Cálculo da profundidade média do nível da água no sector em estudo.

Estação		Profundidade média do nível da água (média aritmética)	Nº de dados da estação	Peso da estação	Média ponderada
316	4	4.706	22	0.039	0.185
	6	2.048	82	0.146	0.300
	118	6.727	35	0.063	0.420
326	34	1.713	65	0.116	0.199
	36	1.957	100	0.179	0.349
338	2	7.494	173	0.309	2.315
	31	2.035	83	0.148	0.302
		Nº total de dados	560		
MÉDIA PONDERADA TOTAL		4.1			

$$\text{Peso da estação} = \frac{\text{Nº de dados da estação}}{\text{Nº total de dados}}$$

Fonte: SNIRH

Topo do aquífero (m)	Piezometria de entrada (m)
15	10.9
35	30.9
20	15.9
45	40.9
22.5	18.4
55	50.9
25	20.9

$$\text{Média ponderada total} = \sum_{\text{estação}} \text{Média ponderada}$$

Balanços hídricos

WATERBDG39.DAT

ASMWIN - Balanço hídrico da simulação 39

FLows ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	7.748006E+01	7.363478E+01	3.845284E+00
WELL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
LEAKAGE	1.767465E+01	2.195002E+01	-4.275373E+00
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	4.299652E-01	0.000000E+00	4.299652E-01
SUM	9.558468E+01	9.558480E+01	-1.220703E-04
DISCREPANCY [%]	0.00		

 ASMWIN - Balanço hídrico da simulação 44

FLOWS ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
 THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
 STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	7.108973E+01	7.142958E+01	-3.398514E-01
WELL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
LEAKAGE	3.400000E-01	0.000000E+00	3.400000E-01
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
SUM	7.142973E+01	7.142958E+01	1.449585E-04
DISCREPANCY [%]	0.00		

WB_recarga15.DAT

ASMWIN - Balanço hídrico relativo à simulação com recarga
a 15% da precipitação média anual

FLOWS ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	1.013647E+02	6.037334E+01	4.099140E+01
WELL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
LEAKAGE	3.400000E-01	4.176125E+01	-4.142125E+01
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	4.299652E-01	0.000000E+00	4.299652E-01
SUM	1.021347E+02	1.021346E+02	1.220703E-04
DISCREPANCY [%]	0.00		

WB_recarga20.DAT

ASMWIN - Balanço hídrico relativo à simulação com recarga
a 20% da precipitação média anual

FLOWS ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	1.012897E+02	6.042499E+01	4.086472E+01
WELL	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
LEAKAGE	3.400000E-01	4.177789E+01	-4.143789E+01
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	5.733138E-01	0.000000E+00	5.733138E-01
SUM	1.022030E+02	1.022029E+02	1.449585E-04
DISCREPANCY [%]	0.00		

ASMWIN - Balanço hídrico - Cenário 0

FLows ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L³/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	1.015461E+02	6.032612E+01	4.122001E+01
WELL	0.000000E+00	4.045700E-01	-4.045700E-01
LEAKAGE	3.400000E-01	4.172867E+01	-4.138867E+01
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	5.733138E-01	0.000000E+00	5.733138E-01
SUM	1.024594E+02	1.024594E+02	8.392334E-05
DISCREPANCY [%]	0.00		

ASMWIN - Balanço hídrico - Cenário 1

FLows ARE CONSIDERED 'IN' IF THEY ARE ENTERING A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L³/SECOND]

MODEL: C:\USERS\CATY\DESKTOP\DISSER~1\ASMWIN\CALDAS2.ASM
STEADY STATE SOLUTION

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
CONSTANT HEAD	1.016768E+02	6.027894E+01	4.139786E+01
WELL	0.000000E+00	6.069700E-01	-6.069700E-01
LEAKAGE	3.400000E-01	4.170406E+01	-4.136406E+01
BOUNDARY FLOW	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
RECHARGE	5.733138E-01	0.000000E+00	5.733138E-01
SUM	1.025901E+02	1.025900E+02	1.449585E-04
DISCREPANCY [%]	0.00		