



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/1/17628

PLANO DE GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO

**Modelação do sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão
e análise dos impactos das alterações climáticas nos
ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (EDAS)**

ARH Tejo

Lisboa • junho de 2012

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 288/2012 – DHA/NAS

PLANO DE GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO TEJO
Modelação do Sistema Aquífero de Monforte-Alter do Chão e Análise dos
Impactos das Alterações Climáticas nos Ecosistemas Dependentes das Águas
Subterrâneas (EDAS)

Resumo

Este trabalho, realizado no âmbito do Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste, apresenta a modelação matemática do sistema aquífero de Monforte-Alter do Chão, incluindo a modelação dos impactos expectáveis das alterações climáticas para os anos de 2050 e 2080 (cenário de emissões A1B) sobre o funcionamento dos Ecosistemas Dependentes das Águas Subterrâneas (EDAS). Complementarmente apresenta-se a caracterização geral do sistema aquífero, que fundamentou a criação do modelo matemático.

WATERSHED MANAGEMENT PLAN OF TAGUS BASIN
Mathematical Modelling of Monforte-Alter do Chão Aquifer System and Analysis
of Climate Change Impacts on Groundwater Dependent Ecosystems (EDAS)

Abstract

This work now presented was developed under the framework of the Watershed Plan of Ribeiras do Oeste, and presents the mathematical modelling of Monforte-Alter do Chão aquifer system. The results of the modelling work concerning the impacts of climate changes, for the 2050 and 2080 horizons (emission scenarios A1B) upon the Groundwater Dependent Ecosystems (EDAS) are also presented here. Finally the general characterization of the aquifer system, from which the mathematical model was constructed, is also presented.

PLAN DE GESTION DE BASSIN DU TEJO
Simulation Mathématique du Système Aquifère de Monforte-Alter do Chão et
Analyse des Impactes do Changement Climatique sur les Ecosystèmes
Dépendantes des Eaux Souterraines (EDAS)

Sommaire

Le travail ici présenté a été développé dans le cadre du Plan de Bassin de Ribeiras do Oeste, et présente les simulations mathématiques du système aquifère de Monforte-Alter do Chão. On présente aussi les simulations mathématiques des impacts du changement climatique, pour les horizons de 2050 et 2080 (scenarios d'émissions A1B), sur le fonctionnement des Ecosystèmes Dépendantes des Eaux Souterraines (EDAS). Comme complément on présente encore la caractérisation du système aquifère, qui fut la base pour la construction du modèle mathématique du système aquifère.



PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

Conteúdos para Consulta Pública do PGRH

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO E

IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

29 . JUNHO . 2012



PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

RELATÓRIOS FINAIS RELATIVAMENTE AOS ESTUDOS PILOTO E PRODUTOS

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO E ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS ECOSISTEMAS DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (EDAS)

Ficha Técnica

Nome	Formação	Área Temática
João Paulo Lobo Ferreira	Eng.º Civil; Doutorado em Engenharia Civil	Coordenação geral e LNEC; águas subterrâneas
José Paulo Monteiro	Geólogo; Doutorado em Hidrogeologia	Coordenação ICCE; águas subterrâneas e ecossistemas
Manuel M. Oliveira	Geólogo; Doutorado em Hidrogeologia	Caracterização quantitativa de águas subterrâneas; caracterização global e avaliação do estado; modelo de dados geográficos
Teresa E. Leitão	Geóloga; Doutorada em Hidrogeologia	Caracterização qualitativa de águas subterrâneas; caracterização global e avaliação do estado
Luís Nunes	Eng.º do Ambiente; Doutorado em Ciências de Engenharia	Análise de tendências; redes de monitorização
Maria Emília Novo	Geóloga; Doutorada em Hidrogeologia	Caracterização geológica e hidrogeológica
Núria Salvador	Eng.ª do Ambiente e Mestre em Gestão de Solos	Ecossistemas
José Fernandes Nunes	Hidrogeólogo e Geólogo de Engenharia	Enquadramento e aspetos gerais; monitorização; pressões antropogénicas qualitativas
Sónia Pombo	Eng.ª Química Sanitarista	Necessidades de água
M.ª Francisca Silva	Eng.ª Química Sanitarista	Pressões antropogénicas qualitativas
Andrea Igreja	Eng.ª em Tecnologias da Informação	Pressões antropogénicas quantitativas; tratamento de dados

Nome	Formação	Área Temática
Maria José Henriques	Geóloga	Levantamento e tratamento de colunas litológicas de captações
David Silva	Eng.º de Recursos Hídricos	Tratamento de informação estatística
Luís Oliveira	Eng.º do Ambiente e Mestre em Engenharia do Ambiente	Mapeamento 3-D de colunas litológicas de captações
Tiago Martins	Geólogo	Avaliação da recarga de aquíferos
João Martins	Eng.º de Ambiente	Pressões antropogénicas
André Braceiro	Eng.º de Ambiente	Pressões antropogénicas
Rodrigo S. Henriques	Eng.º de Ambiente	Pressões antropogénicas
Ricardo Martins	Eng.º do Ambiente	Tratamento de informação Geográfica
Isabel Vaz Pinto	Eng.ª Agrónoma	Coordenação Hidroprojecto; Necessidades de água; Pressões difusas

PLANO DE GESTÃO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO TEJO

Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos

RELATÓRIOS FINAIS RELATIVAMENTE AOS ESTUDOS PILOTO E PRODUTOS

MODELAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO E ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS ECOSSISTEMAS DEPENDENTES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (EDAS)

ÍNDICE GERAL

1. MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO ...	1
1.1 Enquadramento Geral.....	1
1.2 Princípios físicos simulados pelos modelos implementados.....	1
1.3 Modelação do Funcionamento da Massa de Águas Subterrâneas.....	3
1.3.1 Enquadramento hidrogeológico e modelo conceptual de base para o desenvolvimento do modelo numérico regional de fluxo	4
1.3.2 Variante 0 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica.....	8
1.3.3 Variante 1 do modelo regional de fluxo – definição de um zonamento de transmissividades baseado na geometria das formações geológicas presentes	13
1.3.4 Variante 2 do modelo regional de fluxo – redefinição do zonamento de transmissividades e das condições de fronteira	23
1.4 Conclusões e Considerações Gerais sobre os Resultados dos Trabalhos de Modelação Realizados.....	27
2. CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	30
2.1 Considerações gerais aos cenários de alterações climáticas.....	30
2.2 Aplicação ao Sistema Aquífero Monforte – Alter do Chão	31
2.2.1 Modificação das séries de precipitação.....	31
2.2.2 Modificação das séries de temperatura.....	33
2.2.3 Modificação das séries de evapotranspiração.....	33
2.2.4 Impacto sobre a piezometria	35
2.2.4.1 Cenário de 2050 – Método de variação constante por estação do ano	35
2.2.4.2 Cenário de 2050 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	42

2.2.4.3	Cenário de 2080 – Método de variação constante por estação do ano	46
2.2.4.4	Cenário de 2080 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	50
2.3	Conclusões e Considerações Gerais sobre os Resultados dos Trabalhos de Modelação Realizados para Cenários de Variação da Recarga Induzida pelas Alterações Climáticas	54

ANEXOS

1.	CARATERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECTÓNICA	63
2.	HIDROGEOLOGIA	65
2.1	Massas de águas subterrâneas	65
2.2	Área de drenagem das massas de águas subterrâneas	67
2.3	Modelo conceptual de funcionamento hidráulico	68
3.	AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES	72
3.1	Introdução	72
3.2	Evolução dos níveis piezométricos	72
3.3	Evolução espaço-temporal da recarga	73
3.4	Massas de água associadas a ecossistemas aquáticos de superfície ou ecossistemas terrestres que delas dependem diretamente	75
3.5	Identificação das zonas potenciais de recarga de aquíferos	76
3.6	Massas de água em risco	77
4.	USOS, NECESSIDADES E PRESSÕES SOBRE A MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	77
4.1	Usos e Necessidades de Água	77
4.1.1	Necessidades de água por tipologia de uso (usos consumptivos e não consumptivos)	77
4.1.1.1	A. Abastecimento público – Sistemas de abastecimento	78
4.1.1.2	B. Agricultura	79
4.1.1.3	C. Pecuária	80
4.1.1.4	D. Indústria	82
4.1.2	Avaliação do balanço entre necessidades, disponibilidades e potencialidades	82
4.2	Abastecimento e tratamento de águas residuais	83
4.2.1	Caraterização dos principais sistemas	83
4.3	Caraterização e análise de vulnerabilidades	83
4.3.1	Riscos de poluição acidental	83
4.4	Pressões naturais e incidências antropogénicas significativas	86
4.4.1	Nota introdutória	86
4.4.2	Poluição tóxica (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)	87

4.4.2.1	Componente urbana.....	87
4.4.2.2	Instalações PCIP.....	87
4.4.3	Poluição difusa (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)	88
4.4.3.1	Adegas, Laticínios, Lagares, Matadouros, Aviculturas e Suiniculturas	88
4.4.3.2	Boviniculturas.....	88
4.4.3.3	Agricultura.....	89
4.4.3.4	Campos de Golfe	90
4.4.4	Resultados globais.....	90
4.4.5	Captações de água subterrânea	90
4.4.5.1	Situações existentes ou previstas que podem comprometer os objetivos ambientais	91
4.5	Zonas protegidas e áreas classificadas.....	91
4.5.1	Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano	91
4.5.2	Zonas vulneráveis.....	92
4.5.3	Zonas de máxima infiltração	92
5.	REDE DE MONITORIZAÇÃO.....	93
5.1	Estado quantitativo, avaliação da representatividade, adequabilidade e otimização.....	93
5.2	Rede de vigilância, avaliação da representatividade, adequabilidade e otimização.....	94
5.3	Rede de substâncias perigosas, avaliação da representatividade, adequabilidade e otimização.....	96
5.4	Rede de nascentes, avaliação da representatividade, adequabilidade e otimização.....	97
5.5	Zonas protegidas	99
5.5.1	Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano	99
5.5.2	Zonas vulneráveis e de infiltração máxima.....	99
6.	AVALIAÇÃO DO ESTADO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	101
6.1	Estado quantitativo.....	101
6.2	Estado químico	102
6.3	Tendências crescentes significativas e persistentes na concentração de poluentes	109
6.4	Síntese.....	109

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Valores de cota do leito dos cursos de água (em m), utilizado para imposição de condições de fronteira para simulação da conexão do sistema aquífero com a rede hidrográfica	9
Quadro 1.2 – Pontos de observação utilizados para calibração do modelo. Todos os pontos de amostragem foram seleccionados a partir dos dados disponibilizados pelo LNEG	20
Quadro 1.3 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo.....	27
Quadro 2.1 - Taxas de variação da precipitação para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras.....	31
Quadro 2.2 - Taxas de variação das temperaturas para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras.....	31
Quadro 2.3 – Variação do nível piezométrico em três pontos na área do sistema aquífero de Monforte – Alter do Chão	41

ANEXOS

Quadro 1.1 – Estratigrafia e litologia da massa de águas subterrâneas.....	63
Quadro 2.1 – Identificação da massa de águas subterrâneas.....	66
Quadro 2.2 – Formações aquíferas dominantes e classificação quanto ao tipo de aquífero e meio de escoamento.....	66
Quadro 2.3 – Caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas ..	66
Quadro 2.4 – Caracterização da produtividade da massa de águas subterrâneas	67
Quadro 2.5 – Síntese da caracterização hidroquímica das massas de água	67
Quadro 2.6 – Áreas de drenagem da massa de águas subterrâneas	68
Quadro 3.1 – Resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário (Monforte-Alter do Chão)	73
Quadro 3.2 – Recarga da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão	74
Quadro 3.3 – Cursos de água associados à massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão.....	75
Quadro 4.1 – Evolução das captações por concelho.....	78
Quadro 4.2 – Abastecimento público. Necessidades de água satisfeitas por origens subterrâneas.....	78
Quadro 4.3 – Necessidades hídricas totais anuais satisfeitas por origens subterrâneas (hm ³).....	79
Quadro 4.4 – Necessidades de água para a pecuária por concelho, espécie e sistema de produção (hm ³ /ano)	80
Quadro 4.5 – Necessidades de água para o setor da Pecuária satisfeitas por origens subterrâneas.....	81
Quadro 4.6 – Distribuição das necessidades anuais de água dos estabelecimentos industriais pelos concelhos	82

Quadro 4.7 – Necessidades de água para a Indústria satisfeitas por origens subterrâneas.....	82
Quadro 4.8 – Necessidades de água em ano médio para os diferentes setores (hm ³ /ano).....	82
Quadro 4.9 – Balanço hídrico dos recursos subterrâneos para o ano médio, por massas de águas subterrâneas	82
Quadro 4.10 – Número de captações presentes na massa de águas subterrâneas ...	83
Quadro 4.11 – Distribuição das fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo.....	87
Quadro 4.12 – Distribuição das minas e pedreiras inactivas.....	88
Quadro 4.13 – Minas inactivas: Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes potencialmente presentes.....	88
Quadro 4.14 – Distribuição das lixeiras encerradas	88
Quadro 4.15 – Lixeiras encerradas: Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes potencialmente presentes.....	88
Quadro 4.16 – Distribuição das boviniculturas com espalhamento de efluentes no solo	89
Quadro 4.17 – Cargas geradas pelas das boviniculturas com espalhamento de efluentes no solo.....	89
Quadro 4.18 – Distribuição das áreas agrícolas de acordo com o CLC'2006.....	89
Quadro 4.19 – Poluição difusa: cargas originada pelas culturas agrícolas.....	89
Quadro 4.20 – Poluição difusa: cargas de Azoto originadas pelos setores da pecuária, agro-indústria e agricultura	90
Quadro 4.21 – Poluição tópica e difusa: substâncias prioritárias e outros poluentes associadas às actividades económicas.....	90
Quadro 4.22 – Captações de água por finalidade e por massa de água.....	91
Quadro 4.23 – Estado Químico das massas de águas subterrâneas e fontes de poluição tópica e difusa relacionadas	91
Quadro 4.24 – Municípios e actos administrativos que aprovam as respectivas delimitações de REN municipais.....	92
Quadro 5.1 – Índice de Representatividade para a rede piezométrica	93
Quadro 5.2 – Número de pontos da rede de piezometria optimizada e índices de representatividade respectivos	93
Quadro 5.3 – Índice de Representatividade para as redes de qualidade	95
Quadro 5.4 – Número de pontos da rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas optimizada e índices de representatividade respectivos.....	95
Quadro 6.1 – Definição do estado quantitativo (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)	101
Quadro 6.2 – Resultados do balanço hídrico	102
Quadro 6.3 – Definição do bom estado químico das águas subterrâneas (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2).....	103
Quadro 6.4 – Síntese da informação utilizada para a avaliação do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão	104

Quadro 6.5 – Resultado da avaliação dos critérios do teste de avaliação global do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão	104
Quadro 6.6 - Teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas para a massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão.....	106
Quadro 6.7 – Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tóxica e difusa com impacte.....	109
Quadro 6.8 – Análise de tendências	109
Quadro 6.9 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação global do estado químico	113
Quadro 6.10 - Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina.....	113
Quadro 6.11 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas.....	113
Quadro 6.12 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da degradação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas.	113
Quadro 6.13 - Análise dos critérios e dos testes do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do balanço hídrico subterrâneo.....	114
Quadro 6.14 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do escoamento superficial.....	114
Quadro 6.15 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas	114
Quadro 6.16 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Unidades e sub-unidades tectono-estratigráficas.....	5
Figura 1.2 – Cursos de água e nascentes na área da massa de águas subterrâneas ..	7
Figura 1.3 – Rede de blocos de diferenças finitas. As células preenchidas correspondem aos pontos de potencial imposto	10
Figura 1.4 – Vectores de gradiente e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento homogéneo (Variante 0). Os pontos no interior da MAS representam as células do modelo onde foram impostas as condições de fronteira.....	11
Figura 1.5 – Isopiezas traçadas com dados obtidos em Dezembro de 1998.....	13
Figura 1.6 – Classificação dos blocos do modelo, de acordo com as classes litológicas consideradas para caracterização da heterogeneidade	15
Figura 1.7 – Zonamento de classes de permeabilidade, no Software Visual-Modflow, tendo em conta a classificação dos blocos do modelo, de acordo com as classes litológicas consideradas para caracterização da heterogeneidade do Sistema Aquífero. Os blocos marcados a cheio correspondem às condições de fronteira usadas na variante 1 do modelo e também, inicialmente, na presente variante	16
Figura 1.8 – Zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo. As zonas Norte, Centro e Sul, são as zonas correspondentes às saídas para cursos de água. As Zonas 5 e 6 correspondem a saídas para o exterior da MAS através do seu limite para SW. A Zona 1 corresponde ao balanço de todo o domínio de escoamento, para o qual não há definição de condições de fronteira e apenas ocorre recarga	17
Figura 1.9 – Vectores de gradiente e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento heterogéneo (Variante 1)	18
Figura 1.10 – Vectores de fluxo e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento heterogéneo (Variante 1)	19
Figura 1.11 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo	22
Figura 1.12 – Redifinação do zonamento de transmissividades efectuado para a presente variante do modelo. Apresentam-se igualmente as zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo.....	24
Figura 1.13 – Vectores de fluxo e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento homogéneo (Variante 2)	25
Figura 1.14 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo	26
Figura 2.1 – Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano	36

Figura 2.2 – Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual	37
Figura 2.3 – Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	38
Figura 2.4 – Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual ..	39
Figura 2.5 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual.....	39
Figura 2.6 – Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano	40
Figura 2.7 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano	40
Figura 2.8 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	42
Figura 2.9 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano.....	43
Figura 2.10 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	44
Figura 2.11 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano	45
Figura 2.12 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano	45
Figura 2.13 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano	46
Figura 2.14 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual.....	47
Figura 2.15 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual.....	48
Figura 2.16 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano	49

Figura 2.17 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano	49
Figura 2.18 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	50
Figura 2.19 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano.....	51
Figura 2.20 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual	52
Figura 2.21 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	53
Figura 2.22 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano	53

ANEXOS

Figura 1.1 – Carta neotetónica.....	65
Figura 2.1 – Enquadramento da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.....	66
Figura 2.2 – Área de drenagem da massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão.....	68
Figura 2.3 – Superfície piezométrica e direcções de fluxo no sistema aquífero	70
Figura 3.1 – Distribuição dos pontos da rede de monitorização na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão	72
Figura 3.2 – Níveis piezométricos por piezómetro e tendências obtidas utilizando a totalidade das séries na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão... ..	73
Figura 3.3 - Recarga da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão ...	74
Figura 3.4 – Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS) na massa de águas subterrâneas Monforte-Alter do Chão	76
Figura 3.5 – Índice de Facilidade de Infiltração da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.....	77
Figura 4.1 – Abastecimento urbano. Necessidades de água satisfeitas por origens subterrâneas, por massa de águas subterrâneas	79
Figura 4.2 – Necessidades hídricas totais satisfeitas por origens subterrâneas. Consumos de rega por massa de águas subterrâneas (hm ³ /ano).....	80
Figura 4.3 – Necessidades de água para a pecuária satisfeitas por origens subterrâneas. Consumos por massa de águas subterrâneas (hm ³ /ano)	81

Figura 4.4 – Mapa da classificação do território do plano, de acordo com o grau de risco de poluição accidental.....	84
Figura 4.5 – Mapa IFI do risco de poluição accidental associado a estradas.....	85
Figura 4.6 – Mapa da classificação do risco de poluição accidental associado a estradas	86
Figura 4.7 – Situação relativa a perímetros de protecção na área do PGRH Tejo	92
Figura 5.1 – Rede monitorização de quantidade da massa de águas subterrâneas após optimização.....	94
Figura 5.2 – Pontos de monitorização da rede de qualidade na massa de águas subterrâneas.....	95
Figura 5.3 – Rede monitorização de vigilância da qualidade de águas subterrâneas após optimização.....	96
Figura 5.4 – Pontos de monitorização da rede de nascentes.....	97
Figura 5.5 – Pontos de monitorização da rede de nascentes após optimização	99
Figura 5.6 – Pontos de monitorização da rede nacional de nitratos na RH5	100
Figura 6.1 – Evolução dos níveis piezométricos na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.....	102
Figura 6.2 – Mapa do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão, de acordo com o esquema definido no Anexo VII, 2.5 do DL n.º 77/2006	105
Figura 6.3 – Pressões e estado químico associados à massa de águas subterrâneas de Monforte – Alter do Chão	108
Figura 6.4 – Estado químico e tendências significativas e constantes da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão (bola preta: tendência crescente; bola azul: inversão de tendência)	110
Figura 6.5 – Estado quantitativo da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.....	111
Figura 6.6 – Massas de águas subterrâneas em risco, antes do PBH Tejo	111
Figura 6.7 – Massas de águas subterrâneas em risco, após do PBH Tejo	111

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), que disponibilizou ao Consórcio do Lote 2 diversos resultados dos seus estudos e dados hidrogeológicos adicionais, que fundamentaram o desenvolvimento dos modelos que se apresentam neste relatório.

1. MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MONFORTE – ALTER DO CHÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O modelo conceptual descrito em Lobo Ferreira et al. (2011) para a massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão foi utilizado para criar modelos numéricos de simulação desta Massa de Água Subterrâneas (MAS). Tal como definido nos termos de referência do presente plano, utilizou-se com este fim o programa “Modflow – modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model”. Este modelo é um programa de domínio público e de utilização gratuita, disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), da autoria de MacDonald e Harbaugh (1988). Este modelo baseia-se na utilização do método das diferenças finitas para simulação de escoamentos subterrâneos, permitindo a análise da sua interação com as massas de água superficiais associadas. O fornecimento do ficheiro não é feito no entanto no formato livre do programa, já que foi escolhida a utilização de um pré e pós processador comercial (Waterloo Hydrogeologic, Visual MODFLOW). Na secção seguinte do texto apresenta-se uma descrição dos princípios físicos simulados por estes modelos de parâmetros distribuídos que, discretizam espacialmente o domínio de escoamento (os aquíferos). O domínio de escoamento assim definido, juntamente com a definição de condições de fronteira apropriadas, caracterizam as condições específicas para um aquífero em particular dos princípios físicos gerais expressos através das equações apresentadas na secção seguinte do texto.

A caracterização global dos aspetos hidrogeológicos desta massa de águas subterrâneas é apresentada no ANEXO 1 baseada em Lobo Ferreira *et al.* (2011).

1.2 PRINCÍPIOS FÍSICOS SIMULADOS PELOS MODELOS IMPLEMENTADOS

A forma mais explícita da equação diferencial em derivadas parciais que descreve o escoamento de água subterrânea de densidade constante, num meio poroso saturado, baseia-se na conjugação da lei de Darcy, que exprime a conservação do momento, e da equação da continuidade, que exprime a lei de conservação da massa do fluido:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{Eq. 1.1})$$

em que:

K_{xx} , K_{yy} e K_{zz} são os valores da condutividade hidráulica [LT^{-1}] ao longo dos eixos cartesianos x , y e z ;

h é o potencial hidráulico [L];

Q é um fluxo volumétrico por unidade de volume [$L^3T^{-1}L^{-3}$] que representa as perdas e ganhos de fluido;

S_s é o armazenamento específico, necessário para a simulação das variações transitórias do volume armazenado de água [L^{-1}].

A condutividade hidráulica define-se pela expressão:

$$K = \frac{\rho g k}{\mu} \quad (\text{Eq. 1.2})$$

em que:

ρ é a densidade da água [ML^{-3}];

g é a aceleração da gravidade [LT^{-2}];

k é a permeabilidade intrínseca ou geométrica [L^2];

μ é a viscosidade dinâmica [$ML^{-1}T^{-1}$].

O potencial hidráulico [L] corresponde à energia por unidade de massa do fluido, se for negligenciada a energia cinética, e expressa-se pela soma da cota z [L] do fluido e do potencial de pressão p [$ML^{-1}T^{-2}$] num dado ponto:

$$h = \left(\frac{p}{\rho g} \right) + z \quad (\text{Eq. 1.3})$$

O armazenamento específico [L^{-1}] é definido pela expressão:

$$S_s = \rho g (\alpha + n\beta) \quad (\text{Eq. 1.4})$$

em que:

α é a compressibilidade do meio poroso [LT^2M^{-1}];

n é a porosidade efetiva (adimensional);

β é a compressibilidade da água [LT^2M^{-1}].

A equação 1.1 é frequentemente expressa numa forma mais compacta utilizando os operadores diferenciais de divergência e de gradiente:

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \text{div} \left(-[K] \overrightarrow{\text{grad}} h \right) = Q \quad (\text{Eq. 1.5})$$

No caso particular da descrição de escoamento em regime permanente as variáveis são independentes do tempo. Neste caso, a equação 1.5 reduz-se à equação 1.6:

$$\text{div}(-[K]\overrightarrow{\text{grad}} h) = Q \quad (\text{Eq. 1.6})$$

No caso vertente, a técnica de discretização, utilizada para simular os sistemas aquíferos modelados recorre uma resolução baseada no “block centered finite difference method” implementado no código MODFLOW (Macdonald e Arbaugh, 1988). Neste caso o parâmetro condutivo utilizado é a transmissividade $T [L^2 T^{-1}]$, obtida multiplicando K pela espessura saturada do aquífero. Para as simulações transitórias, o parâmetro capacitivo tridimensional $S_s [L^{-1}]$ é substituído pelo coeficiente de armazenamento $S [-]$, que se obtém pela multiplicação de S_s pela espessura saturada do aquífero.

As condições de fronteira utilizadas neste tipo de modelos são diversas variantes dos três tipos seguintes:

- Fronteiras tipo Dirichlet, também denominadas “tipo 1” > specified-head boundary (fronteira de piezometria especificada);
- Fronteiras tipo Neumann, também denominadas “tipo 2” > specified-flow boundary (fronteira de fluxo especificado);
- Fronteiras tipo Cauchy, também denominadas “tipo 3” > head-dependent or ‘leaky’ boundary; com diferentes tipos de coeficientes de transferências de entrada e saída.

As diversas packages usadas pelo MODFLOW para definição de condições de fronteira são apenas casos particulares destes três tipos de condições de fronteira, às quais são impostas restrições (constraints) que as tornam válidas apenas enquanto se verifica a satisfação de valores máximos e mínimos definidos para os diferentes tipos de condições (por exemplo, “drenos” que não são mais do que condições do “tipo 3”, com a limitação de apenas funcionarem quando o potencial simulado no aquífero é superior ao de uma massa de água superficial associada, o que impede o comportamento influente desta (entradas de água para o aquífero).

1.3 MODELAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

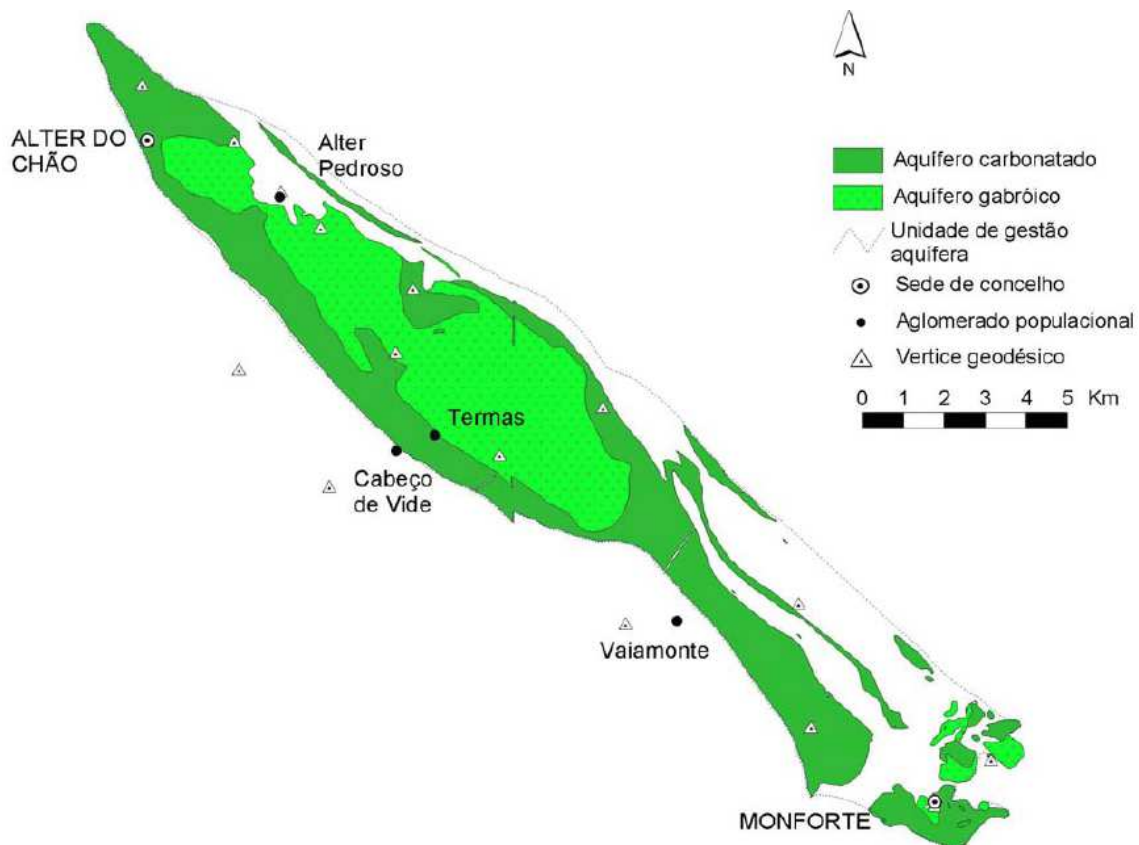
Para desenvolver este modelo de simulação do escoamento subterrâneo no sistema aquífero Monforte-Alter do Chão efetuou-se uma análise detalhada de um vasto

acervo de informação técnica e científica, disponível para esta massa de água subterrânea (MAS), disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia (LNEG). Estes elementos são essenciais para enquadrar qualquer tipo de desenvolvimento da gestão da água nos cerca de 100km² a que corresponde a área que se arbitrou pertencer a esta MAS. Uma vez que o acervo de dados de que é detentora esta instituição (LNEG) não estava incluído na informação de base fornecida para a realização do presente plano, efetuaram-se contactos junto desta instituição, tendo esta facultado todos os dados considerados relevantes para o desenvolvimento do modelo implementado no âmbito do presente Plano.

1.3.1 Enquadramento hidrogeológico e modelo conceptual de base para o desenvolvimento do modelo numérico regional de fluxo

De todos os elementos apresentados e discutidos ao longo dos diferentes capítulos em que as características desta massa de água subterrânea foram apresentadas (incluindo a sua caracterização, a avaliação de estado quantitativo e estado qualitativo e ainda a análise da adequabilidade e proposta de melhoria das atuais redes de monitorização), sintetiza-se nesta secção apenas a informação relevante para justificar as opções feitas para a construção do modelo numérico implementado e as referências bibliográficas relevantes para o modelo conceptual que proposto que o suporta. Para além dos trabalhos já referidos desenvolvidos pelo LNEG para a caracterização deste sistema aquífero, referenciados em diferentes capítulos do plano (Costa, 1995; Fernandes, 2001; Fernandes e Francés, 2002; Fernandes e Francés, 2010), foram ainda apresentados trabalhos desenvolvidos com base nas contribuições de Monteiro e Silva, 1995; Fernandes e Ribeiro, 1999; Fernandes e Ribeiro, 2001 e Marques et al. (2008).

A geometria envolvente das formações que se considera pertencerem à MAS de Monforte-Alter do Chão apresenta forma elipsoidal, alongada segundo a direcção NW-SE. O conjunto de litologias, agrupado na área considerada (98,87 km²), consiste num aquífero central e de um aquífero periférico envolvente (Figura 1.1).



Fonte: Fernandes (2001)

Figura 1.1 – Unidades e sub-unidades tectono-estratigráficas

O aquífero periférico, com uma área aproximada de 39 km², tem como suporte litológico os calcários e dolomitos cristalinos presentes nesta área. O aquífero central, com cerca de 30 km², é constituído por rochas básicas e ultrabásicas e corneanas de contacto. As rochas básicas e ultrabásicas (identificadas na Figura 1.1 como aquífero gabróico) são constituídas por dunitos que, sobretudo à superfície, se encontram serpentinizados e estão em conexão hidráulica com as rochas carbonatadas. A área de afloramento das formações aquíferas é de 69 km². Por razões de ordem prática, os trabalhos de caracterização hidrogeológica regional desenvolvidos pelo LNEG, e posteriormente por Almeida et al. (2000), incidiram sobre a área atualmente definida para efeitos de gestão do sistema que corresponde aos 98,87 km² abrangidos no mapa da Figura 1.1. Esta definição territorial é útil sob o ponto de vista prático da caracterização e gestão da água, já que as formações presentes com maior aptidão aquífera se apresentam nalguns locais bastante segmentadas. Por outro lado, a existência desta compartimentação da MAS em diversos sectores semi-independentes torna muito difícil implementar um modelo matemático de funcionamento hidráulico para condições deste tipo. Os ensaios de bombagem efetuados e discutidos em Costa (1995) e em Monteiro e Silva (1995) mostraram, por um lado que os valores de

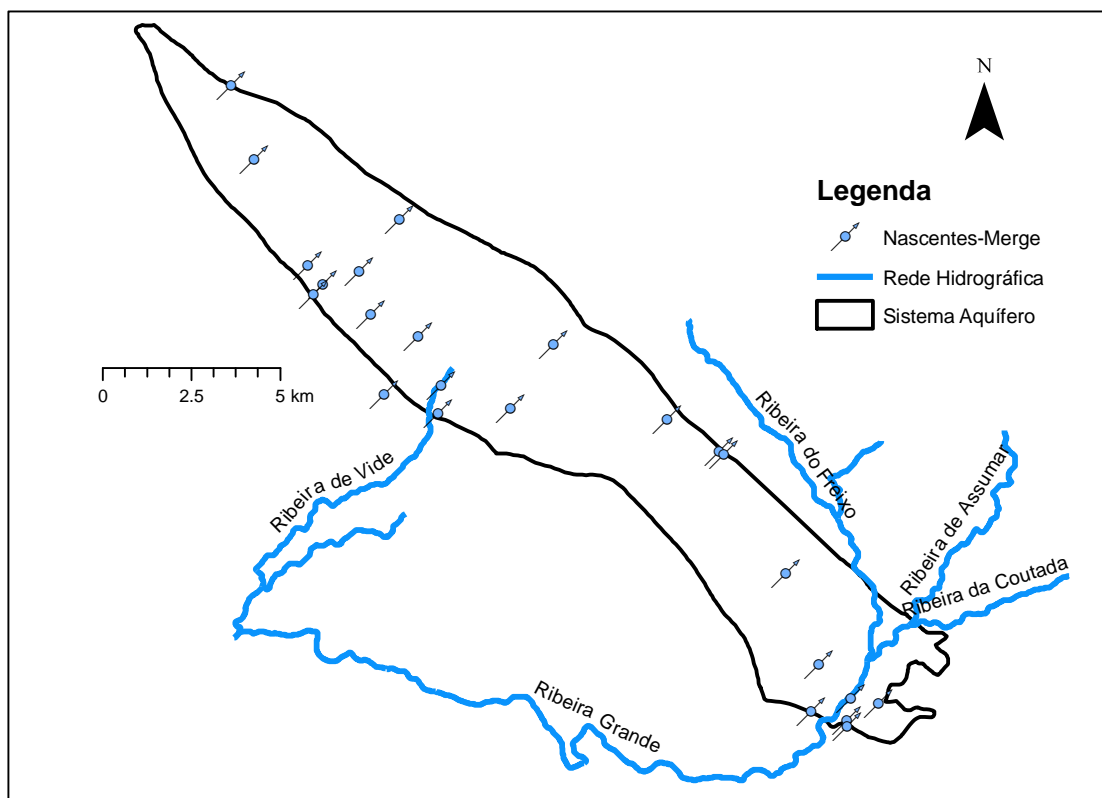
transmissividade obtidos são relativamente baixos, sendo no entanto necessário ter em conta que é muito comum a coexistência de valores muito altos e muito baixos em sistemas carbonatados carsificados, como os sectores mais produtivos deste sistema. O valor mais alto encontrado foi de 538 m²/d (Monteiro e Silva, 1995). Por outro lado, foram obtidos valores bastante mais baixos (de 92 m²/dia). Este último valor foi obtido por Costa (1995) na herdade dos Esquerdos, tendo sido um dos vários casos em que captações ensaiadas nos diferentes sectores deste sistema aquífero indicaram a presença de barreiras. Num outro caso de ensaios realizados em captações implantadas nas rochas carbonatadas (sondagem do Monte do Azinhal) obteve-se uma transmissividade de 204 m²/dia para o troço dos 0 aos 30 m de profundidade. Numa sondagem em Sto. António das Paredes ensaiou-se os primeiros 29 m nas rochas ultrabásicas e obteve-se uma transmissividade de 282 m²/dia. Ainda no caso do ensaio realizado na Herdade dos Esquerdos o furo ensaiado situa-se numa estreita faixa de calcários do Câmbrico a cerca de 70 metros do contacto com os ortognaisses graníticos e sienitos hiperalcalinos, pouco permeáveis. Nos casos em que foi possível recolher observações para além dos furos de extração obtiveram-se valores de para o coeficiente de armazenamento de $3,84 \times 10^{-3}$ (Monteiro e Silva, 1995), de $2,15 \times 10^{-3}$ e $2,48 \times 10^{-3}$ (Costa 1995). A este respeito, Costa (1995) e Fernandes (2001) referem que, noutras zonas, com rochas carbonatadas câmbricas no Alentejo, têm sido encontrados valores em geral superiores a 2×10^{-2} para o coeficiente de armazenamento, bem como valores mais elevados de transmissividade.

Os valores do conjunto de ensaios realizados, de acordo com Costa (1995) e Fernandes (2001), poderão ser explicados partindo do pressuposto de que o sistema aquífero carbonatado, devido à sua heterogeneidade, seja composto por pequenos aquíferos locais independentes à escala temporal da duração da bombagem, mas ligados entre si considerando uma escala temporal sazonal. Não foi num entanto detetada qualquer barreira positiva, suscetível de representar comunicação hidráulica entre o aquífero captado e o sistema a nível regional. A este respeito acrescenta-se que a deteção de rebaixamentos residuais em vários ensaios mostra que as recuperações de níveis após os ensaios são muitas vezes incompletas (chegando a ultrapassar-se um metro). Assim, pode considerar-se que os dados existentes apontam claramente para a compartimentação desta MAS, não permitindo os elementos disponíveis comprovar de forma cabal a existência de conexão eficaz entre os vários sectores da MAS, de forma suficientemente relevante que justifique a modelação matemática conjunta, para efeitos práticos de gestão destas unidades hidrogeológicas.

De acordo com a interpretação avançada por Costa (1995) e Fernandes (2001), as saídas naturais desta MAS coincidem com os cursos de água representados e nascentes disseminadas na área da MAS, com maior relevo para as situadas na sua periferia. Na Figura 1.2 apresentam-se os limites da MAS juntamente com todas as nascentes referenciadas nos diferentes trabalhos consultados.

A análise da informação geográfica disponível permitiu verificar que a rede hidrográfica disponível na cobertura “ART13_MDRENA_PTCONT.shp” não apresentava detalhe suficiente para representar todos os cursos que se considerou à partida poderem ser relevantes como locais de descarga natural do sistema. Assim, com base em coberturas cartográficas de maior detalhe foram referenciados pontos de descarga adicionais, correspondentes à presença da Ribeira de Alter do Chão, constituindo esta uma possível zona de descarga do sistema, junto ao seu limite Norte.

A primeira variante do modelo construído baseou-se pois numa conceptualização baseada no controlo do funcionamento hidráulico do sistema controlada pelas saídas correspondentes aos principais três cursos de água com o seu percurso sobre o sistema aquífero.



Fonte: INTERSIG e Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH)

Figura 1.2 – Cursos de água e nascentes na área da massa de águas subterrâneas

Verifica-se a existência de um elevado número de nascentes nesta MAS e na sua vizinhança. Este facto é mais um elemento que denota o elevado grau de independência dos sectores em que se encontra compartimentada a MAS. Não existe informação sobre os caudais destas nascentes, nem mesmo identificação sobre a presença de nascentes permanentes mais importantes. Deste modo não é possível distinguir o que poderão ser simples saídas de sistemas locais pouco relevantes ou saídas importantes para a organização do escoamento regional. Perante este facto não se considerou adequado incluir a simulação destas nascentes nas variantes implementadas no modelo, o que exigiria a recolha de informação que atualmente não está disponível através de trabalho de campo.

A discretização do modelo matemático foi efetuada através da definição de uma rede com 2120 células (também denominadas blocos) cuja área individual é de cerca de 4,8 ha, tendo assim o domínio de escoamento uma área de cerca de 100 km². A rede construída ilustra-se Figura 1.3, onde se assinalaram os blocos para os quais foram impostas condições de fronteira.

1.3.2 Variante 0 do modelo regional de fluxo – controlo regional do escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica

O primeiro passo no sentido de compreender o controlo da geometria e condições de fronteira da massa de águas subterrâneas (MAS) consistiu na realização de uma variante do modelo considerando o domínio de escoamento homogéneo. Apesar dos resultados obtidos nestas condições serem, neste caso, muito pouco fiéis quando comparados com o “comportamento observado do sistema aquífero”. A discussão deste tipo de simulações, abordando questões muito simples e objetivas é muito importante pois estas permitem, desde logo, compreender algumas características importantes do padrão regional de escoamento, essenciais para o desenvolvimento de futuros modelos que possam simular de forma fiável o comportamento desta massa de água.

A forma de simular a presença de conexão hidráulica subterrânea com os cursos de água, neste caso, consistiu na utilização de condições de fronteira do Tipo 1 “specified head” e Tipo 3 “head-dependent” que, no caso do programa MODFLOW podem ser utilizadas, recorrendo às packages de condições de fronteira denominadas “Constant Head Boundary Conditions (CHD)”, e “Drain (DRN) Boundary Conditions”. Os resultados são muito semelhantes em ambos os casos, simplificando no entanto o problema em causa a utilização de condições de fronteira (DRN), uma vez que não existem elementos que permitam considerar que sejam relevantes os volumes de

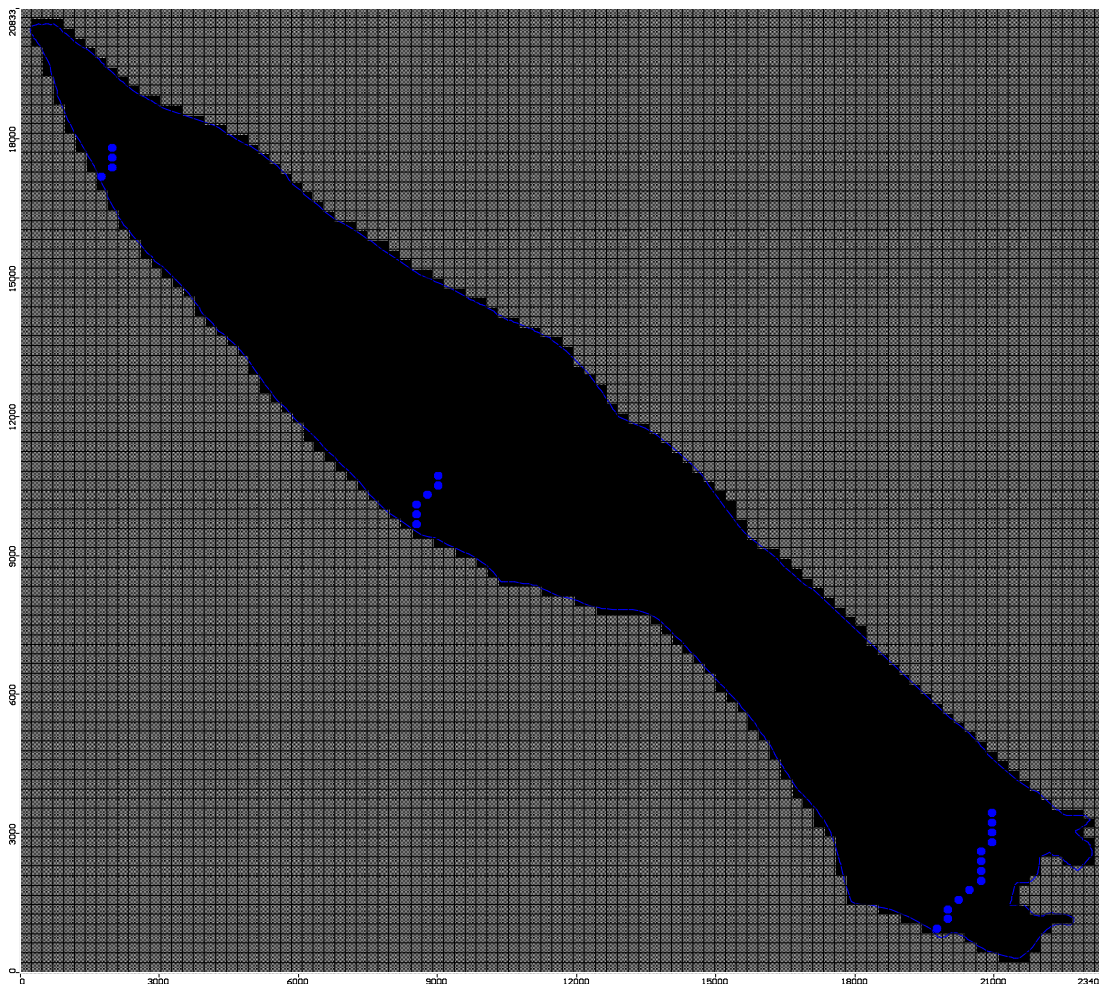
entradas de alimentação a partir da infiltração de cursos de água em quaisquer das referências consultadas sobre esta área. Na verdade, a utilização de drenos no MODFLOW corresponde apenas a uma simplificação extrema do uso do conceito básico de “Constraints of Boundary Conditions”, para condições de tipo 3, válidas apenas, neste caso particular, quando o potencial hidráulico no aquífero (calculado pelo modelo) é superior ao das células vizinhas onde é imposto o potencial hidráulico, representando os drenos. Uma vez que nestas circunstâncias os cursos de água funcionam apenas como áreas de saída (correspondente ao caudal de base dos cursos de água), não existe qualquer benefício da utilização de condições de fronteira de caudal imposto (Tipo 2), ou ainda de condições Tipo 3 sem constrangimentos para as entradas. Estas podem ser utilizadas no MODFLOW, recorrendo às packages “River (RIV) Boundary Conditions” e “Stream (STR) Boundary Conditions”, e ainda “General-Head (GHB) Boundary Conditions”, caso a conexão se dê com um corpo de água superficial com uma dimensão excecionalmente importante relativamente à dimensão do aquífero. No presente caso de estudo não é aconselhável utilizar condições de fronteira deste tipo pois não existem dados que permitam aferir em que medida ocorre a eventual entrada de água no sistema em troços influentes dos cursos de água.

No Quadro 1.1 e na Figura 1.3 e registam-se os valores considerados para a imposição de condições de fronteira, utilizadas para simular as saídas naturais desta massa de água e a respetiva posição geográfica no seu e em células localizadas na periferia do domínio de fluxo. Considera-se, nesta variante do modelo, que estas saídas naturais se processam exclusivamente em direção aos três cursos de água, que os estudos piezométricos existentes parecem indicar constituírem saídas das águas subterrâneas de toda a área, com cerca de 100 km², considerada relevante para efeitos de gestão das águas subterrâneas nesta região (Fernandes, 2001; Fernandes e Ribeiro 1999; 2001).

Quadro 1.1 – Valores de cota do leito dos cursos de água (em m), utilizado para imposição de condições de fronteira para simulação da conexão do sistema aquífero com a rede hidrográfica

Alter do Chão (Norte)	Cabeço de Vide (Centro)	Rib. Grande Monforte (Sul)
280,0	256,0	233,0
275,0	253,0	232,0
269,0	248,0	231,0
260,0	245,0	229,0
	240,0	228,4
	239,0	227,9
		227,3
		226,8
		226,2
		225,7

Alter do Chão (Norte)	Cabeço de Vide (Centro)	Rib. Grande Monforte (Sul)
		225,1
		224,6
		224,0

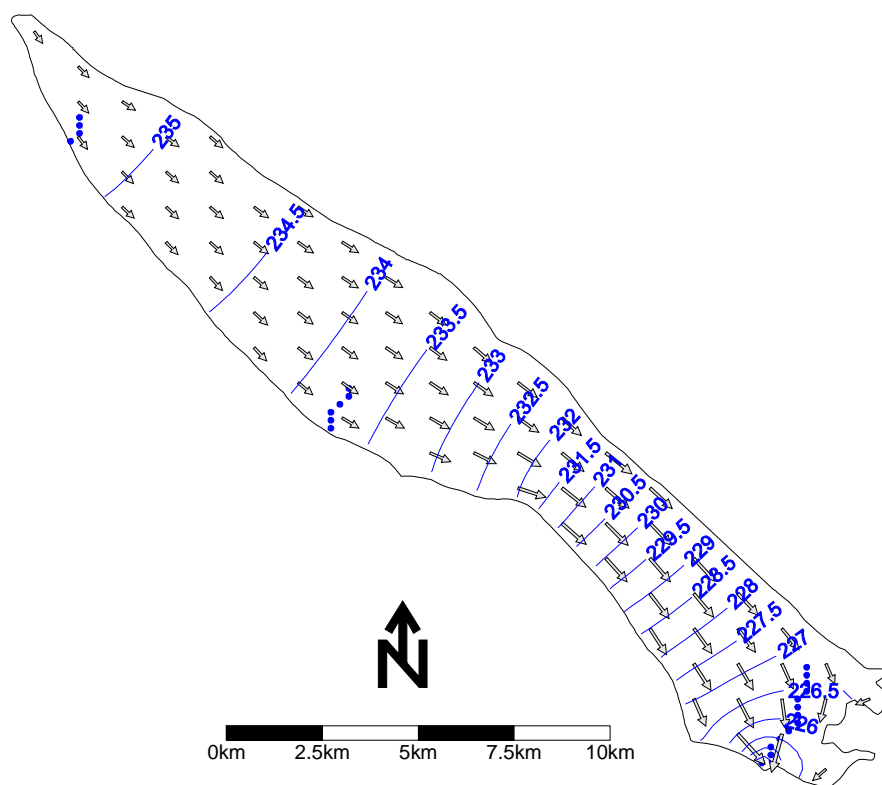


Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.3 – Rede de blocos de diferenças finitas. As células preenchidas correspondem aos pontos de potencial imposto

A representação dos potenciais hidráulicos e vetores de fluxo da simulação descrita nos parágrafos anteriores mostra que, dada a posição relativa e cotas das áreas de descarga, e a forte diminuição de cotas no sentido sul, qualquer representação homogénea dos valores de transmissividade leva à definição de um padrão regional de escoamento fortemente dominado pelo sentido NW-SE. Uma simulação desse tipo, considerando uma condutividade hidráulica de 10^{-3} m/s, o que corresponde a uma transmissividade de 10^{-1} m/s ($8\ 640\ \text{m}^2/\text{dia}$) tendo em conta uma espessura de 100 m para o domínio de escoamento, é apresentada na Figura 1.4. Este valor é considerado adequado para uma primeira análise do problema, tendo em conta que considera os

valores regionais das litologias com maior permeabilidade presentes no domínio de escoamento (as rochas carbonatadas). O significado das simulações realizadas com base neste valor deverá ser interpretado tendo presente que existem na maior parte desta área litologias que possuem, seguramente, valores de condutividade hidráulica muito inferiores a este valor.



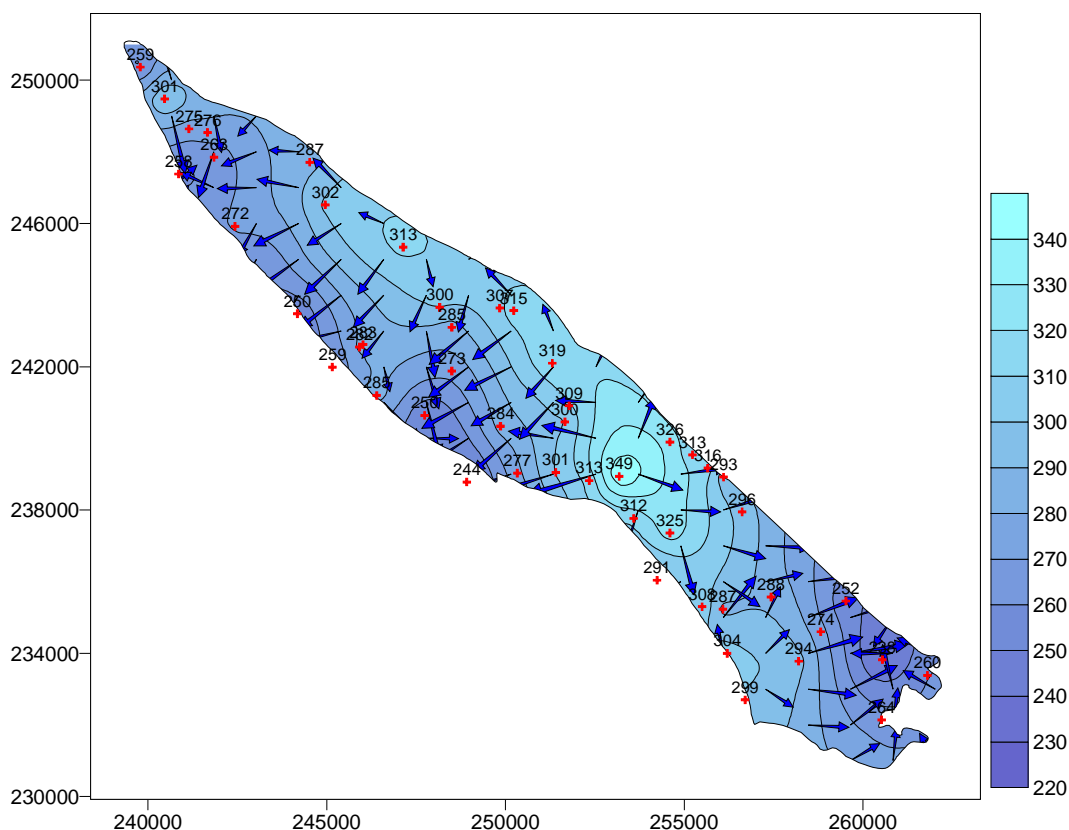
Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.4 – Vectores de gradiente e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento homogéneo (Variante 0). Os pontos no interior da MAS representam as células do modelo onde foram impostas as condições de fronteira

A simulação acima descrita, apesar de assente numa conceptualização de funcionamento desta MAS muito artificial (domínio de escoamento homogéneo), mostra claramente que não é possível simular um padrão de escoamento realista com base nestas condições de fronteira. Pensa-se igualmente que será de pouca utilidade prática fazer evoluir futuras variantes do modelo conceptual atualmente existente para um modelo numérico de escoamento mais fiável, com base exclusiva na definição de zonamentos da transmissividade baseados na grande heterogeneidade das litologias incluídas nos limites desta MAS. As primeiras simulações realizadas mostram que a definição de condições de fronteira baseada num modelo conceptual com controlo exclusivo do padrão regional de escoamento fundamentado na conexão hidráulica desta MAS com os principais cursos de água, dificilmente poderá gerar simulações

regionais de escoamento, compatíveis com as várias direções principais e secundárias de escoamento subterrâneo, identificadas a partir de estudos realizados sobre a piezometria do domínio de escoamento definido “para efeitos de gestão das águas subterrâneas”. Estes dados resultam dos trabalhos de investigação realizados pelo LNEG (Fernandes, 2001), tendo sido discutidos e apresentados noutros relatórios desta instituição, por Fernandes e Ribeiro (1999; 2001), e ainda por Fernandes e Francés (2002; 2010). Nestes trabalhos são apresentados e discutidos um conjunto de dados piezométricos, através dos quais foi efetuada a geração de superfícies piezométricas para os meses de Junho, Outubro e Dezembro de 1998 e para os meses de Abril, Junho, Setembro e Novembro de 1999. A estimação de valores da piezometria em locais onde não se realizaram observações foi feita por krigagem ordinária, um interpolador linear exato, que tem em conta a estrutura da variável definida pelos variogramas (Fernandes, 2001). Na Figura 1.5 apresenta-se um exemplo de um dos mapas traçados na sequência destes trabalhos, neste caso recorrendo a dados de Dezembro de 1998. As variações temporais da piezometria revelaram-se pouco acentuadas nos diferentes períodos de amostragem, o que suscitou o comentário de Almeida et al. (2000), ao referirem-se às onze campanhas de medição do nível piezométrico em 57 pontos de água que monitorizam esta MAS, o qual alude a uma grande homogeneidade nos níveis medidos para cada um dos pontos de água, observando-se muito poucas oscilações: “Em alguns piezómetros, a oscilação do nível é da ordem dos 1 a 3 metros. As únicas exceções são três pontos, cujas maiores oscilações de nível registadas foram de 23, 28 e 33 metros, ao longo desta série, não se detetando qualquer tendência dos níveis, quer de subida, quer de descida”.

Em síntese, considera-se que, de acordo com todas as evidências reveladas pelo conhecimento hidrogeológico aprofundado da região, qualquer tipo de exercício de modelação baseado em condições de fronteira exclusivamente baseadas em saídas naturais controladas somente pela conexão hidráulica com os cursos de água que se sabe receberem caudal de base na área desta MAS, dificilmente poderá gerar simulações regionais de escoamento compatíveis com as várias direções principais e secundárias de escoamento subterrâneo, identificadas a partir dos estudos detalhados da piezometria existentes. Tal pode constatar-se da comparação da Figura 1.4 com a Figura 1.5.



Fonte: Fernandes e Ribeiro (2001)

Figura 1.5 – Isopiezas traçadas com dados obtidos em Dezembro de 1998

Com base nestes primeiros resultados, desenvolveram-se novas variantes do modelo implementado, quer através da definição de condições de fronteira alternativas às já descritas, quer através de tentativas de caracterização da acentuada heterogeneidade que caracteriza o suporte litológico, muito diversificado, desta massa de água subterrânea. Os dados piezométricos utilizados para construir a Figura 1.5 foram cedidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia, tendo os mesmos sido utilizados para a aferição da qualidade das diferentes variantes do modelo que foi implementado.

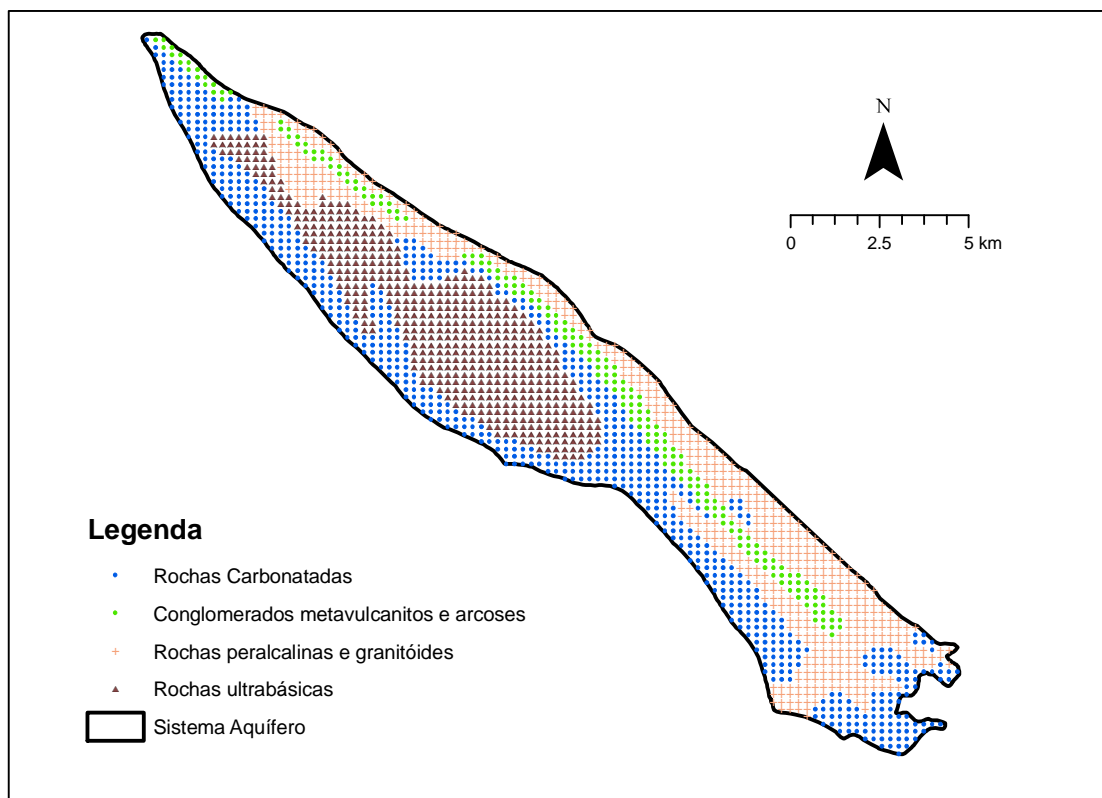
1.3.3 Variante 1 do modelo regional de fluxo – definição de um zonamento de transmissividades baseado na geometria das formações geológicas presentes

A presente variante do modelo mantém o controlo regional de escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica. No entanto, foram igualmente efetuadas variantes mais elaboradas em que se consideraram igualmente transferências para unidades hidrostratigráficas exteriores aos limites arbitrados para definir esta MAS. Para além destes aspetos, a principal característica distintiva desta variante consiste na

definição de um zonamento de transmissividades baseado na geometria das formações geológicas presentes.

Tal como na variante anterior do modelo de fluxo, também nesta se mantiveram, numa primeira fase, condições de fronteira baseadas exclusivamente na conexão hidráulica desta MAS com a rede hidrográfica. Posteriormente, foram também testadas condições de fronteira baseadas na existência de transferências de água para unidades hidrostratigráficas exteriores ao domínio de escoamento correspondente ao limite desta MAS. No entanto, a maior diferença desta variante relativamente à anterior consiste na definição de um **zonamento de transmissividades baseado na geometria das formações geológicas presentes**. Este tipo de zonamento pode ser eficaz quando a geometria das formações geológicas é bem conhecida e existem contrastes de “permeabilidade” suficientemente diferenciáveis entre as litologias e, por outro lado, quando a heterogeneidade interna de cada uma das formações presentes não é demasiado acentuada. Esta abordagem adequa-se pois mais a situações, por exemplo, com rochas sedimentares com geometria conhecida, organizadas em estratos regulares, com parâmetros hidráulicos diferenciáveis à escala regional. Não é este o caso desta MAS, pois nela temos rochas carbonatadas, ígneas ultrabásicas e hipercalinas, todas paleozóicas, muito alteradas e metamorfizadas, o que limita a eficácia da utilização de um software baseado em diferenças finitas, como o MODFLOW (MacDonald e Harbaugh, 1988), para a discretização espacial da geometria da MAS. A configuração deste problema justifica, claramente, a adoção de uma técnica de discretização mais flexível e rigorosa, aconselhada em casos deste tipo, que recorre, em alternativas às diferenças finitas, ao método dos elementos finitos. Este tipo de metodologias já foi aplicado no Nordeste Alentejano, no sistema aquífero de Castelo de Vide, na área do presente plano (Monteiro, 2001). As vantagens da utilização de elementos finitos neste tipo de problemas (geometrias complexas e elevada heterogeneidade) são descritas em textos de referência como de Marsily (1986), Bear e Verruijt (1987), Huyakorn e Pinder (1983), Kinzelbach (1986) e Lobo Ferreira (1988).

A classificação dos blocos de diferenças finitas, de acordo com o seu tipo litológico ilustra-se na Figura 1.6. e Figura 1.7.

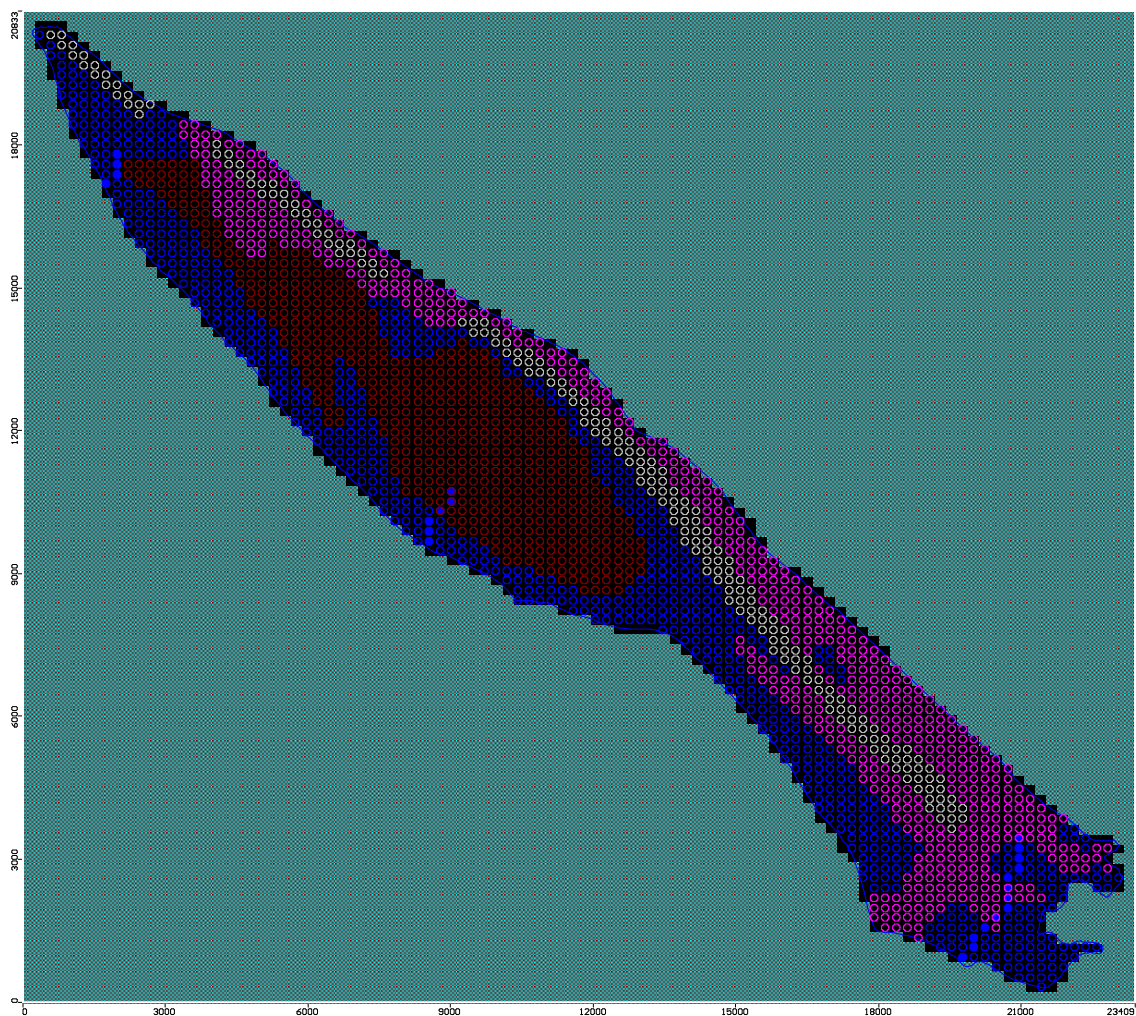


Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.6 – Classificação dos blocos do modelo, de acordo com as classes litológicas consideradas para caracterização da heterogeneidade

A primeira das subvariantes destas simulações, baseada nas mesmas condições, não se apresenta no texto uma vez que se podem exprimir com clareza os resultados desta fase do trabalho, adicionando desde logo a alteração efetuada entretanto nas condições de fronteira utilizadas na variante anterior (baseadas em saídas naturais exclusivamente controladas pelos cursos de água em conexão com esta MAS).

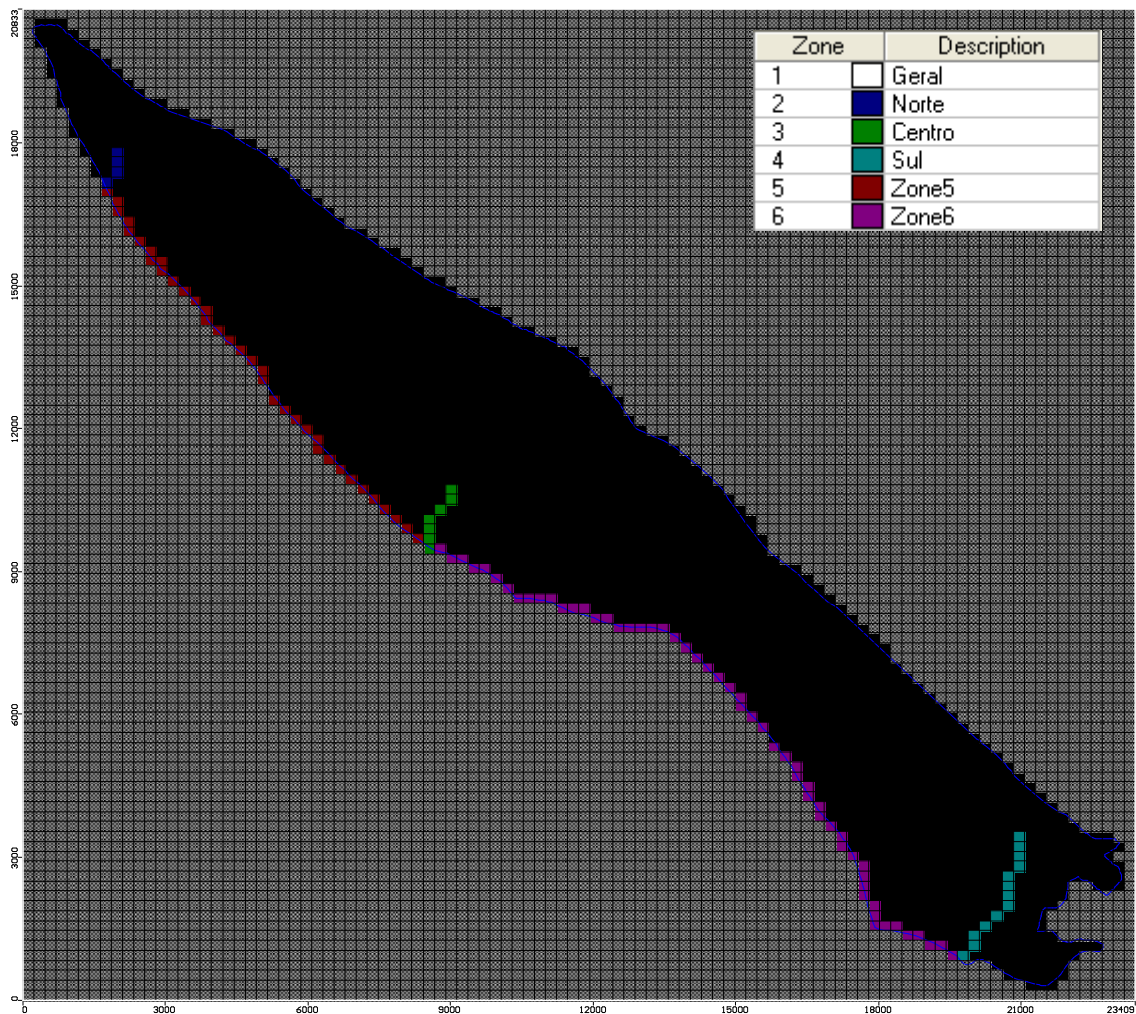
A alteração efetuada das condições de fronteira consiste em considerar as transferências para SW, que de acordo com a distribuição espacial da piezometria são sugeridas pelos resultados apresentados em Fernandes (2001), Fernandes e Ribeiro, (1999; 2001) e Fernandes e Francés (2002; 2010). Recorda-se que nestes trabalhos são apresentados e discutidos um conjunto de dados piezométricos, através dos quais foi efetuada a geração de superfícies piezométricas para os meses de Junho, Outubro e Dezembro de 1998 e para os meses de Abril, Junho, Setembro e Novembro de 1999. Na Figura 1.5, apresenta-se um exemplo de uma das superfícies piezométricas apresentadas nestes trabalhos (águas altas, Dezembro de 1998), onde é evidente o decréscimo de potenciais hidráulicos em direção à maior parte da extensão do limite SW dos limites arbitrados para esta MAS.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.7 – Zonamento de classes de permeabilidade, no Software Visual-Modflow, tendo em conta a classificação dos blocos do modelo, de acordo com as classes litológicas consideradas para caracterização da heterogeneidade do Sistema Aquífero. Os blocos marcados a cheio correspondem às condições de fronteira usadas na variante 1 do modelo e também, inicialmente, na presente variante

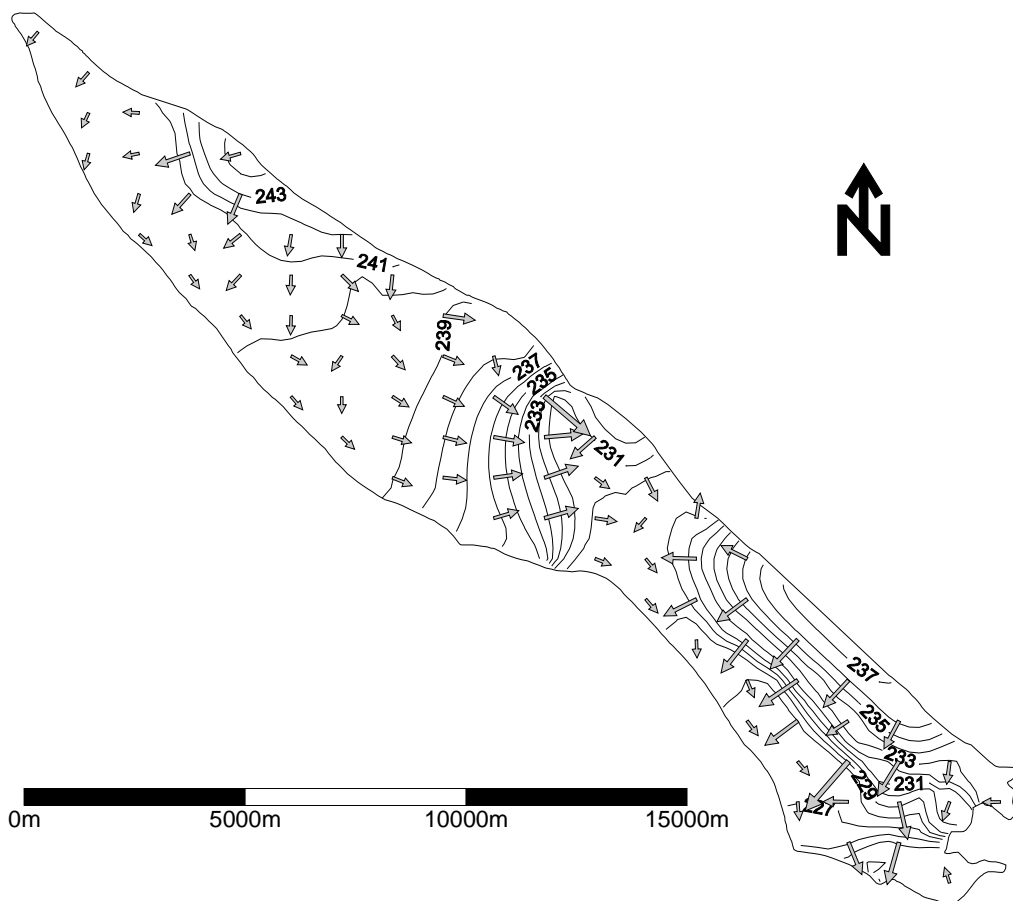
De modo a tentar simular a possível transferência de água no sentido explicitado no parágrafo anterior, definiram-se condições de fronteira no limite SW da MAS, tendo também sido adicionadas zonas de cálculo de balanço de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas. Foram assim definidas 5 subzonas para estudo do balanço do modelo implementado. Estas apresentam-se na Figura 1.8 e todos os nós identificados nas subzonas coincidem com nós em que foram definidas condições de fronteira.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.8 – Zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo. As zonas Norte, Centro e Sul, são as zonas correspondentes às saídas para cursos de água. As Zonas 5 e 6 correspondem a saídas para o exterior da MAS através do seu limite para SW. A Zona 1 corresponde ao balanço de todo o domínio de escoamento, para o qual não há definição de condições de fronteira e apenas ocorre recarga

Os vetores de gradiente desta simulação apresentam-se na Figura 1.9. e os vetores de fluxo na Figura 1.10. Neste caso, estes são proporcionais às transferências dos volumes de água entre as células do modelo, e não apenas ao gradiente do potencial hidráulico interpolado entre elas. No caso de se considerar o domínio do escoamento heterogéneo ao nível das transmissividades, como na presente variante, estes diferem de forma mais importante, quando maior seja a heterogeneidade do domínio de escoamento.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.9 – Vectors de gradiente e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento heterogéneo (Variante 1)

Os resultados das simulações obtidas para a presente variante do modelo, considerando a definição de zonas de transmissividade, baseadas na heterogeneidade das litologias presentes e também transferências subterrâneas de água para litologias exteriores aos limites desta MAS (para SW), facultam um padrão espacial de escoamento subterrâneo regional mais realista do que o apresentado para a variante Zero (domínio de escoamento homogéneo e saídas naturais ocorrendo, exclusivamente, de transferências para os cursos de água que recebem caudal de base a partir desta MAS).



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.10 – Vectors de fluxo e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento heterogéneo (Variante 1)

Foram ainda ensaiadas configurações diferentes, nas quais se tentaram aumentar os contrastes de permeabilidade entre as diversas formações. No entanto a utilização de diferenças finitas para a discretização das heterogeneidades litológicas e complexidade geométrica das condições de fronteira voltou a mostrar as suas limitações, já que deixaram de se conseguir simulações estáveis para contrastes de transmissividade mais acentuados do que os empregues na presente variante. De facto, nesta variante os valores de condutividade hidráulica considerados foram 10^{-2} m/s para as rochas carbonatadas, 10^{-4} m/s para as rochas ultrabásicas e 10^{-5} m/s para as rochas hiperalcalinas. Apesar de muito elevados, estes contrastes não são ainda suficientes para a simulação de gradientes suficientemente grandes para reproduzir os que se observam nos dados piezométricos disponíveis. Sempre que se alteraram os contrastes de permeabilidade das zonas definidas para além destes valores, deixaram de se obter simulações viáveis, recorrendo a todos os solvers disponíveis na package Visual MODFLOW. De facto quando se aumentou o contraste de permeabilidade entre

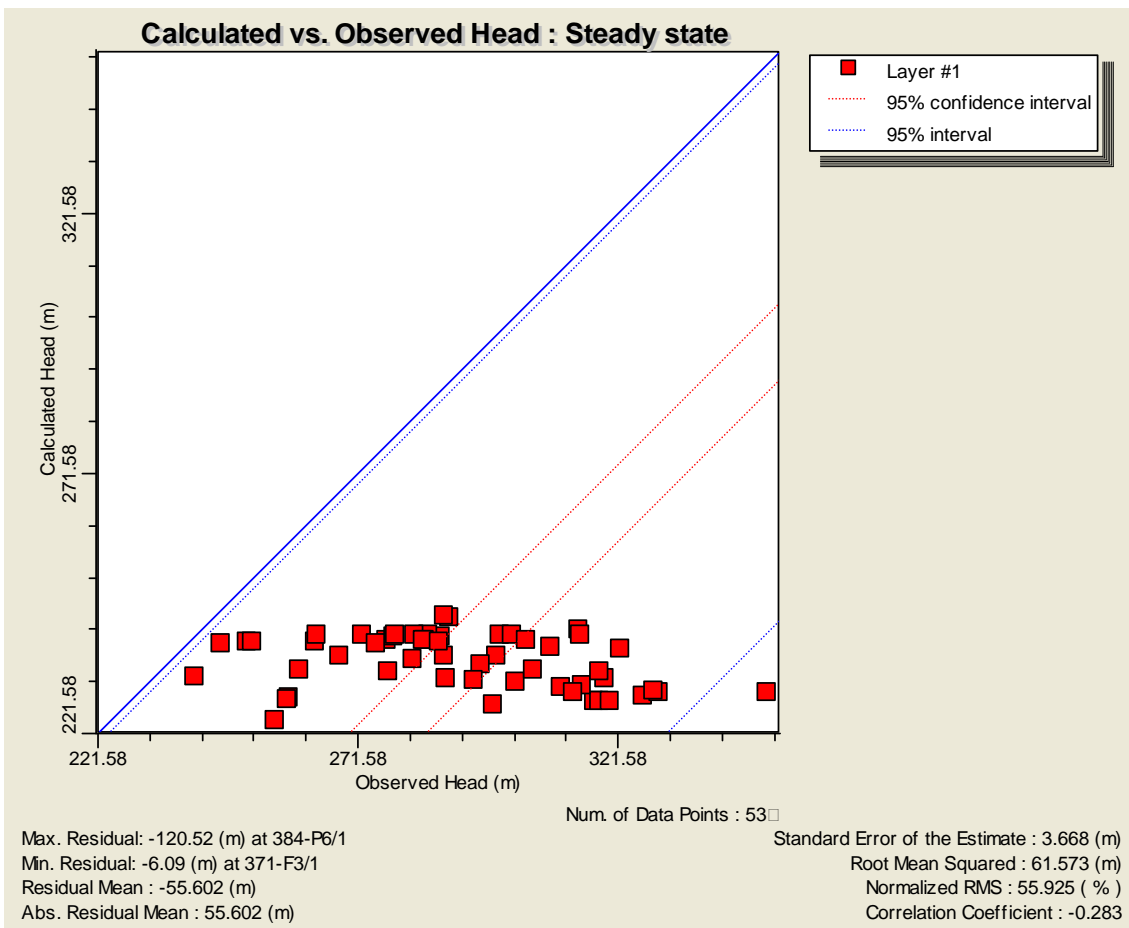
as formações, reduzindo os valores das rochas peralcalinas para valores de 10^{-7} m/s, ou mesmo 10^{-6} m/s, através dos quais se poderiam eventualmente conseguir gradientes mais elevados, semelhantes aos que se observam a partir dos dados piezométricos, as soluções deixam de convergir, tendo sido impossível ensaiar contrastes de permeabilidade suficientemente heterogéneos.

Por outro lado, verificou-se que o zonamento proposto na presente variante, exclusivamente baseado na geometria das litologias, poderia ser melhorado. Em algumas zonas, como para SE da Ribeira do Carrascal, entre a área de descarga central do sistema e a povoação de Vaiamonte, parece existir um controlo estrutural que contribui para a compartimentação do sector mais para sul da MAS (cerca de um terço da área do sistema, correspondente à sua parte meridional). Este sector parece ter um alguma independência relativamente à parte do sistema que se desenvolve para Norte. Assim, considerou-se uma alteração do zonamento de forma a tornar menos efetiva a conexão hidráulica entre as partes da MAS para Sul e para Norte deste sector. Esse novo zonamento apresenta-se e discute-se na variante seguinte apresentada para o modelo. Nesta fase, uma vez que o padrão regional de escoamento já apresenta alguma similaridade com os mapas produzidos a partir das observações piezométricas, introduziram-se no modelo os dados de observação piezométrica, cedidos pelo LNEG que se apresentam no Quadro 1.2. Como se pode verificar na Figura 1.11, os valores observados na rede piezométrica têm sempre valor mais alto do que os calculados pelo modelo, o que é fruto de os contrastes de permeabilidade terem se ser ainda maiores dos que o já utilizados nas variantes apresentadas; isto, como já foi referido, levanta dificuldades à evolução do modelo. Na prática estes resultados mostram também que seria preferível fazer modelos de cada um dos subsistemas que constituem esta massa de água e não de todos os domínios de escoamento nela incluso, que revelem elevados graus de independência.

Quadro 1.2 – Pontos de observação utilizados para calibração do modelo. Todos os pontos de amostragem foram seleccionados a partir dos dados disponibilizados pelo LNEG

Referência	X [m]	Y [m]	Pot. Hidráulico [m]
370-F13	242700	246160	287,4
370-F-17	247400	242080	276,9
370-F18	242440	245920	278,3
370-F-28	247820	241620	263,2
370-F30	244960	246520	313,8
370-F32	241520	248260	272,1
370-F33	241670	248540	278,6
370-F34	240560	249620	298,6
370-F35	240470	249480	301,1
370-F5	241150	248640	285,1
370-F6	241220	248580	282,4

Referência	X [m]	Y [m]	Pot. Hidráulico [m]
370-F8	247860	240980	250
370-P11	247740	240640	251
370-P3	244170	247980	289
370-P3P	244525	247710	288,1
370-P4	247140	245340	314,1
370-P7	241850	247850	263,6
370-P8	245920	242550	284,2
370-P9	246020	242620	284
371-F2	248500	241880	274,8
371-F3	248020	241080	245,2
371-P1	249860	240340	288
371-P2	251310	242100	319
371-P3	251780	240910	310,4
371-P4	250230	243570	321,9
371-P6	251660	240460	301,9
371-P7	249840	243640	308,6
371-P8	248160	243660	303,8
371-P9	248500	243100	287
384-F14	255500	235300	316,9
384-F15-26	255490	235320	318
384-F16	256080	235230	319,8
384-F18	254600	237360	326,1
384-F19	259520	235460	267,9
384-F23	255230	239540	314,5
384-P10	251410	239050	305,1
384-P11	254960	237300	329,4
384-P12	256620	237950	298
384-P13	254600	239900	328,3
384-P14	258820	234600	277,2
384-P15	260580	231300	255,6
384-P16	260500	232440	258
384-P16A	260500	232420	257,7
384-P17	260540	233820	240,1
384-P-19	261800	233380	260
384-P20	255660	239170	318
384-P21	256100	238920	295
384-P22	257430	235570	293,6
384-P23	257460	235630	288,3
384-P5	252340	238820	312,8
384-P6	253180	238940	350,2
384-P7	258200	233780	297,5
384-P8	250330	239030	281,8



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

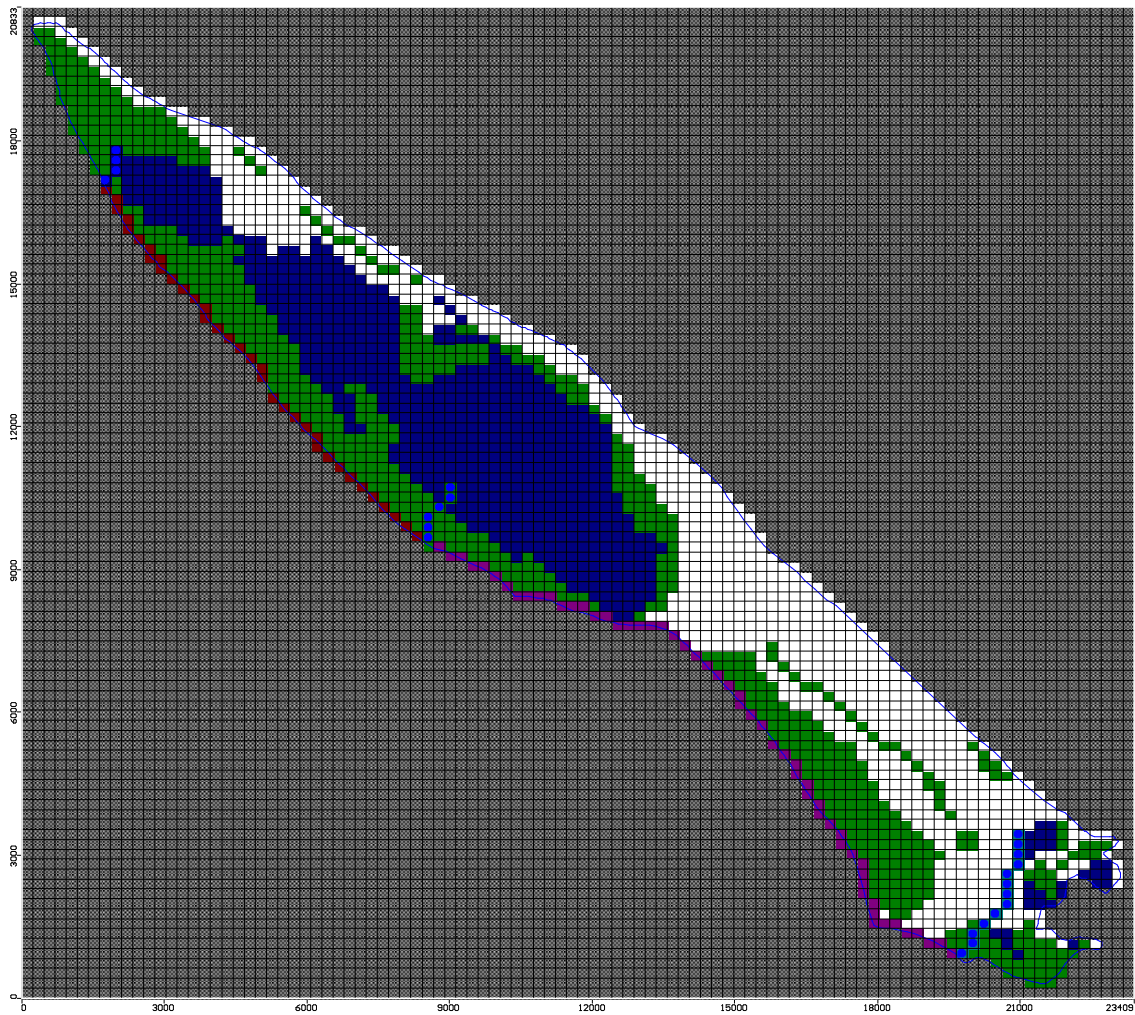
Figura 1.11 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo

Como referido no parágrafo anterior, os resultados das simulações efetuadas até esta fase mostraram que os limites arbitrados para esta massa de água subterrânea não constituem as fronteiras mais adequadas para o desenvolvimento de um modelo de simulação de escoamento subterrâneo. Apesar disso, continuaram-se os trabalhos no sentido de aprofundar as possibilidades de tornar um modelo com estas características mais fiável no sentido, dentro da medida do possível, de permitir a simulação do padrão regional de escoamento subterrâneo no seio de unidades hidrostratigráficas semi-independentes (ou mesmo completamente independentes, como sugerem os resultado de vários estudos hidrogeológicos de escala local).

1.3.4 Variante 2 do modelo regional de fluxo – redefinição do zonamento de transmissividades e das condições de fronteira

Tal como no caso da variante anterior, também nesta se considera o controlo regional de escoamento baseado na conexão hidráulica com a rede hidrográfica e transferências entre unidades hidrostratigráficas. O domínio de escoamento é heterogéneo, baseando-se igualmente num zonamento de transmissividades, que foi definido com base na *geometria das formações geológicas presentes*. Neste caso foram no entanto efetuadas alterações ao zonamento, tendo em conta a grande diferença que se verifica entre os valores de potencial hidráulico registados no terreno nos pontos de observação, sobretudo nas litologias de menor permeabilidade, e os valores calculados pelo modelo para estas mesmas zonas (como pode verificar-se através da observação da Figura 1.5). Na presente variante os valores de condutividade hidráulica considerados foram 10^{-2} m/s para as rochas carbonatadas, 10^{-4} m/s para as rochas ultrabásicas e 10^{-5} m/s para as rochas hiperalcalinas. Apesar de muito elevados, estes contrastes não são ainda suficientes para a simulação de gradientes tão elevados como os que se observam nos dados piezométricos disponíveis. Esta modificação no zonamento da transmissividade foi efetuado por se constatar que em algumas zonas, como para SE da Ribeira do Carrascal, entre a área de descarga central do sistema e a povoação de Vaiamonte, os dados piezométricos parecem mostrar a presença de compartimentação desta área, relativamente ao sector mais para sul da MAS (cerca de um terço da área do sistema, correspondente à sua parte meridional). Este sector parece ter um alguma independência, relativamente à parte do sistema que se desenvolve para Norte. Assim, considerou-se uma alteração do zonamento de forma a tornar menos efetiva a conexão hidráulica entre as partes da MAS para Sul e para Norte deste sector. Este novo zonamento apresenta-se na Figura 1.12.

Os resultados desta simulação mostram uma maior aproximação ao padrão regional de escoamento obtido através dos estudos de piezometria existentes, como pode verificar-se na Figura 1.13. Nesta simulação, o facto de se tornarem menos eficientes as transferências do terço mais a Sul do domínio de escoamento com a região que se encontra para Norte começa a evidenciar o aumento de importância de saídas desta MAS, não apenas para os cursos de água (que aliás só ocorrem em direção à Ribeira Grande, mais a Sul), mas igualmente para as unidades hidrostratigráficas para SW. Recorda-se que a existência de transferências deste tipo é fortemente sugerida pelo mapa piezométrico apresentado na Figura 1.5.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

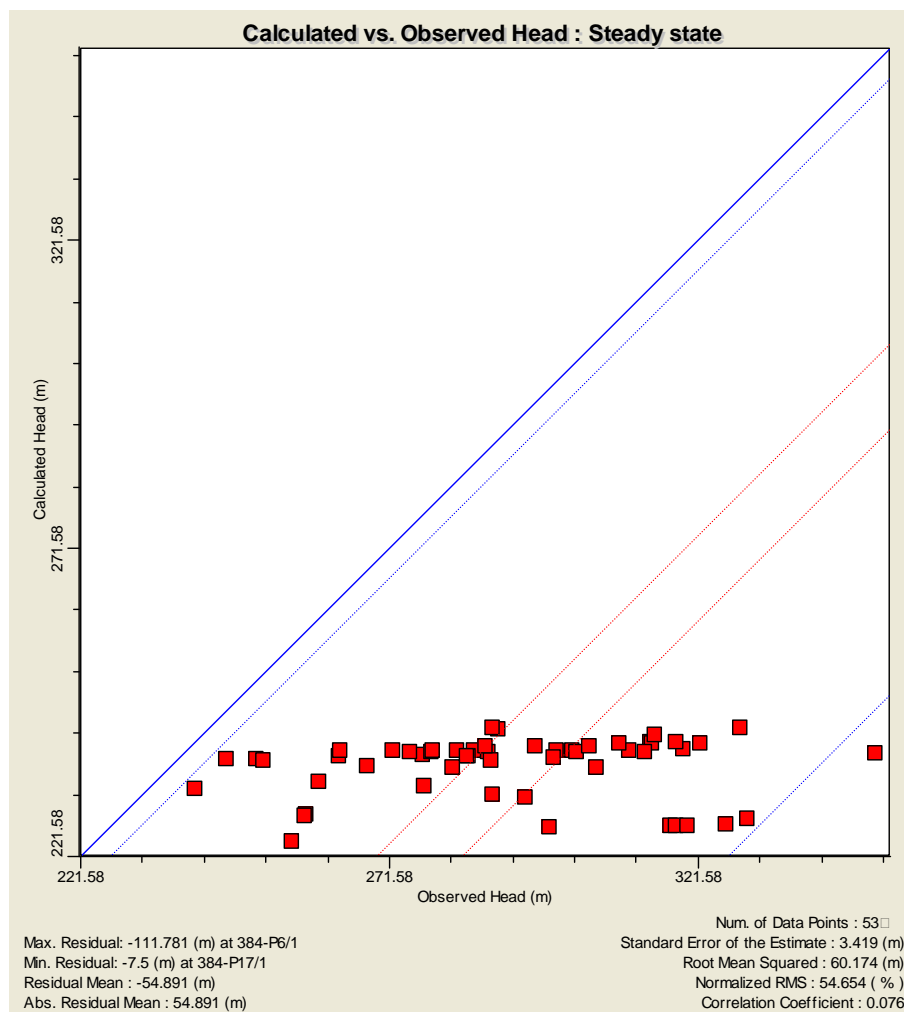
Figura 1.12 – Redifinição do zonamento de transmissividades efectuado para a presente variante do modelo. Apresentam-se igualmente as zonas de cálculo de balanço, de cada um dos grupos de células que representam saídas naturais consideradas no modelo

Apesar de uma configuração geral do padrão regional de escoamento mais ajustada à realidade do que a obtida para as variantes anteriores, a presente variante continua a apresentar baixa capacidade de reproduzir fielmente o potencial hidráulico em cada um dos pontos de observação dos níveis piezométricos. Ou seja, o modelo passa a ter as direções de fluxo mais parecidas com as sugeridas pelos mapas piezométricos mas os contrastes de permeabilidade entre as diferentes formações geológicas são ainda muito insuficientes para reproduzir os gradientes observados no “sistema real”. A comparação dos valores calculados e observados é apresentada na Figura 1.14.



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.13 – Vectors de fluxo e isopiezas construídas com as condições de fronteira definidas considerando o domínio de escoamento homogéneo (Variante 2)



Fonte: Trabalho realizado durante o presente plano

Figura 1.14 – Comparação de potenciais hidráulicos observados na rede piezométrica e calculados pelo modelo

O balanço de entradas e saídas de água, simuladas na presente variante do modelo, apresentam-se no Quadro 1.3. O balanço fornecido é desagregado em 6 parcelas. Cada uma destas parcelas é uma zona correspondente a um conjunto de blocos de diferenças finitas, cujo balanço corresponde às saídas para os cursos de água superficiais e para unidades hidrostratigráficas exteriores ao domínio de escoamento. Estas zonas para estudo desagregado do balanço do modelo implementado foram apresentadas na Figura 1.8, recordando-se que todos os nós pertencentes a estas zonas coincidem com nós em que foram definidas condições de fronteira.

A análise dos resultados do balanço mostra que apenas se verificam saídas regionais na Ribeira Grande (curso de água mais a Sul na área do sistema, correspondente à Zona 4) e na Zona 6. Esta Zona 6, correspondente a saídas naturais para fora da massa de água, através do seu limite SW, situadas entre a Ribeira de Vide (Zona 3) e a zona 4 anteriormente referida (Ribeira Grande).

Os resultados da modelação efetuada não afasta a possibilidade da Ribeira de Vide (Zona 3) e, mais a Norte, a Ribeira de Alter (Zona de balanço 2), receberem caudal de base, como contributo para o seu escoamento, oriundo de águas subterrâneas na área de 100 km² definida para esta massa de água subterrânea. No entanto estas saídas, que muito provavelmente existem como comprova o grande número de pequenas nascentes no sistema, são resultado da organização de escoamento subterrâneo local e não diretamente relacionáveis com a organização de escoamentos à escala dos limites definidos para a massa de água Monforte-Alter do Chão no seu conjunto.

Quadro 1.3 – Balanço de entradas e saídas nas zonas de balanço consideradas no modelo

Área de Balanço	Recarga		Saídas	
	(m ³ /dia)	(hm ³ /ano)	(m ³ /dia)	(hm ³ /ano)
Zona 1 [Geral]	42788,34	15,62	0,00	0,00
Zona 2[Rio Norte]	85,45	0,03	0,00	0,00
Zona 3 [Rio Centro]	149,54	0,05	0,00	0,00
Zona 4 [Rio Sul]	277,70	0,10	4356,81	1,59
Zona 5 [Transf. Subt.]	769,04	0,28	0,00	0,00
Zona 6 [Transf. Subt.]	1217,60	0,44	40930,86	14,94
Balanço Total	45287,67	16,53	45287,67	16,53

1.4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS TRABALHOS DE MODELAÇÃO REALIZADOS

Tal como anteriormente referido, os limites que definem a identidade desta massa de água subterrânea englobam uma área com cerca de 100 km². Os resultados dos trabalhos de modelação apresentados para esta área corroboram claramente a existência de um conjunto de formações com propriedades hidrogeológicas tão contrastantes que se podem, em vários casos e para diferentes subáreas, considerar que se comportam de forma parcial ou totalmente independente. Recorde-se que de acordo com os trabalhos de Fernandes (2001) se inclui neste conjunto de litologias (1) um aquífero carbonatado periférico, com uma área aproximada de 39 km² (calcários e dolomitos cristalinos), (2) um aquífero central, com cerca de 30 km², constituído por rochas básicas, ultrabásicas e corneanas de contacto. Na restante área encontram-se ainda rochas intrusivas hiperalcalinas. Os estudos hidrogeológicos de escala local realizados em diversos sectores hidrogeológico desta MAS permitem a identificação de sectores compartimentados semi-independentes. As referências a esta compartimentação são expressas na maioria dos trabalhos citados. Por exemplo Fernandes (2001) faz referência à existência, no Monte dos Esquerdos, à realização de um ensaio de bombagem que permitiu a deteção de uma barreira negativa, coincidindo a sua presença com uma “estreita faixa de calcários do Câmbrico a cerca

de 70 metros do contacto com os ortognaisses graníticos e sienitos hiperalcalinos, pouco permeáveis”. Também Carvalho e Costa (1998) fazem referência a sectores que não parecem possuir ligação com o sistema regional, como por exemplo o sector da Herdade da Palma. Aumenta ainda a complexidade deste sistema o facto deste ser predominantemente livre, apresentando no entanto localmente características de confinamento, especialmente na proximidade do contacto com xistos (Costa, 1998). Ainda segundo este autor o sistema apresenta-se como um domínio de escoamento fraturado no Sector Central, enquanto no Sector Periférico o seu comportamento hidráulico é cársico-fissurado. Finalmente há ainda a considerar que os escoamentos superficiais e subterrâneo são condicionados pelo sistema de fraturas gerado durante os episódios frágeis tardi-variscos de orientação NNE-SSW e ENE-WSW (Fernandes e Francés, 2002). Ou seja deverá considerar-se como muito provável a existência de sectores caracterizados por permeabilidade anisotrópica associada a famílias de fraturas com orientações preferenciais.

As características hidrogeológicas das litologias que integram a área com cerca de 100 km², definida como unidade de gestão, não inviabilizam a implementação de um modelo regional de escoamento subterrâneo. No entanto, dado o elevado grau de independência dos diferentes sectores que o compõem, parece ser pouco útil, na prática, investir mais esforço num modelo regional de escoamento à escala territorial desta MAS, para efeitos de gestão de recursos hídricos subterrâneos. A realidade hidrogeológica conhecida, aprofundada através dos trabalhos de modelação efetuados, mostra que a área desta MAS agrupa unidades hidrogeológicas com comportamentos tão diferenciadas, quer em termos de respostas às entradas e saídas naturais, quer em resposta às bombagens efetuadas em captações, que seria preferível implementar modelos de subáreas dentro dos limites da unidade de gestão de 100 km² atualmente definida.

Em relação aos resultados obtidos há alguns aspetos da modelação apresentada que podem evoluir no futuro. Como se pôde verificar na Figura 1.14 há uma grande discrepância entre os valores modelados e os reais. A divisão por 10 de todos os valores de condutividade hidráulica utilizados na variante 2 da simulação permitiria obter valores mais próximos, como demonstram alguns “retratos” dos resultados obtidos pelo modelo apresentados no ANEXO 2.

Independentemente das considerações apresentadas, para fazer evoluir um modelo com os limites do atual será aconselhável utilizar uma metodologia de simulação mais adequada para simulação dos fenómenos de transferência atuantes à escala temporal de um ano hidrológico médio, que evolua eficazmente para uma análise transitória do

regime de funcionamento hidráulico do sistema. O método dos elementos finitos é mais fiável do que as diferenças finitas (usadas no presente modelo) para a simulação do funcionamento hidráulico de litologias que se caracterizam por diferenças de permeabilidade separadas por diversas ordens de magnitude e com geometria muito complexa. Este tipo de metodologias já foi aplicado com sucesso em cerca de uma dezena de sistemas aquíferos de Portugal pelos membros da equipa de trabalho do presente plano, incluindo o sistema aquífero de Castelo de Vide, na área do presente plano (Monteiro, 2001). As vantagens da utilização de elementos finitos neste tipo de problemas (geometrias complexas e elevada heterogeneidade) são descritas em textos de referência como de Marsily (1986), Bear e Verruijt (1987), Huyakorn e Pinder (1983), Kinzelbach (1986) e Lobo Ferreira (1988). Ou seja, considera-se aconselhável neste caso recorrer a um algoritmo baseado no método dos elementos finitos, que possui muito maior capacidade de discretização do espaço e de simulação de heterogeneidades de geometria complexa do que a metodologia empregue no programa MODFLOW (MacDonald e Harbaugh, 1988). Em qualquer caso, salienta-se que se considera mais adequado subdividir a área considerada para esta massa de água subterrânea, para efeitos de modelação hidrogeológica, do que investir no esforço de manter a atual linha de trabalho, baseada no agrupamento de formações atualmente considerado.

2. CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS AOS CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Na modelação desta massa de águas subterrâneas foram simuladas as condições decorrentes dos cenários de alterações climáticas, previstas para os horizontes de 2050 e 2080. O cenário de emissões considerado foi o cenário A1B, que corresponde a um cenário de crescimento económico global rápido, e equilíbrio entre diferentes tipos de fontes energéticas. Usou-se como base para as modificações das séries de precipitação e temperatura os dados de variação do estudo ENSEMBLES, o qual avaliou as alterações climáticas para a Europa com base em diferentes modelos climáticos regionais, e que são apresentados para a bacia hidrográfica do Tejo pelo estudo Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010).

A preparação das séries de precipitação a correr no modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD teve como base duas metodologias distintas, sendo o resultado duas séries de precipitação para cada cenário no mesmo período, uma para cada tipo de método.

A série de precipitação base corresponde aos dados recolhidos no período de 1-10-1979 a 30-9-2009, a partir das estações meteorológicas de Arronches (19N/01UG), Monforte (19M/01UG), Alter do Chão (18L/01UG), Campo Experimental do Crato (Chança) (18K/01C), Castelo de Vide (17M/01G) e Seda (19K/01UG). Para tal foi calculada a média da precipitação diária para período de tempo.

As séries modificadas de precipitação, temperatura e evapotranspiração foram usadas para calcular a recargas da massa de águas subterrâneas nas novas condições climáticas, através do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD.

O conjunto de metodologias apresentadas têm como base as propostas por Oliveira *et al.* (2012).

Estes dados, incluindo as novas recargas sob as condições climáticas que se perspetivam para 2050 e 2080, serviram de base para a análise de cenários futuros e compará-los à situação de referência atual, através do modelo matemático na variante 2 (secção 1.3.4).

2.2 APLICAÇÃO AO SISTEMA AQUÍFERO MONFORTE – ALTER DO CHÃO

A aplicação dos cenários de alterações climáticas consiste numa primeira fase em correr o modelo BALSEQ_MOD com as séries climáticas modificadas segundo as previsões propostas para os períodos de 2050 e 2080 e em segundo lugar aplicar o resultado da corrida do balanço ao modelo matemático.

2.2.1 Modificação das séries de precipitação

As séries de precipitação foram modificadas, por estação do ano, para os horizontes temporais de 2050 e 2080, conforme às taxas de variação da precipitação para estes horizontes temporais, para o cenário climático A1B do estudo Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010). De acordo com estes cenários esperam-se as alterações de precipitação e temperatura, de acordo com a estação do ano, referidas nos Quadro 2.1 e Quadro 2.2

Quadro 2.1 - Taxas de variação da precipitação para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras

Modelo climático	Modelo SMHIRCA _ECHAM5	Média dos modelos ENSEMBLES
Horizonte 2080	Inverno: -4,7%; Primavera: -37,5%; Verão: -61%; Outono: -24,6%	Inverno: +2%; Primavera: -33%; Verão: -51%; Outono: -27%
Horizonte 2050	Inverno: +4%; Primavera: -15%; Verão: -26,8%; Outono: -22,6%	Inverno: +12%; Primavera: -11%; Verão: -29%; Outono: -15%

Quadro 2.2 - Taxas de variação das temperaturas para o cenário climático A1B e horizontes temporais para a região de Torres Vedras

Modelo climático	Modelo SMHIRCA _ECHAM5	Média dos modelos ENSEMBLES
Horizonte 2080	Máxima mensal	Inverno: +2,1°C; Primavera: +3,1°C; Verão: +6,7°C; Outono: +4,1°C
	Mínima mensal	Inverno: +1,9°C; Primavera: +1,9°C; Verão: +3,2°C; Outono: +3°C
Horizonte 2050	Máxima mensal	Inverno: +0,8°C; Primavera: +0,8°C; Verão: +2,6°C; Outono: +1,6°C
	Mínima mensal	Inverno: +0,7°C; Primavera: +0,4°C; Verão: +1,2°C; Outono: +1,1°C

Os meses constituintes de cada estação do ano são para o Inverno: Dezembro, Janeiro, Fevereiro; para a Primavera: Março, Abril, Maio; para o Verão: Junho, Julho, Agosto; e para o Outono: Setembro, Outubro, Novembro.

A alteração das séries de precipitação considerou duas metodologias:

(1) Variação constante por estação do ano – nesta metodologia cada evento de precipitação é afectado da taxa de variação correspondente à estação do ano a que pertence. Assim uma precipitação afectada por uma taxa de variação de -25% corresponde um valor que é o da precipitação inicial subtraído de 25% desta

precipitação. Ao longo de cada ano, são aplicadas sucessivamente 4 taxas distintas de variação, uma para a Primavera, outra para o Verão, uma terceira para o Outono e uma última para o Inverno.

(2) Variação removendo os eventos menores de precipitação, por estação do ano – nesta metodologia usa-se igualmente uma taxa de variação por estação do ano, a qual é constante para essa estação ao longo dos 30 anos da série, mas neste caso eliminam-se os eventos menores de precipitação no caso em que as taxas de variação assinalam uma redução da precipitação.

A eliminação dos eventos menores é realizada ordenando os valores da série de precipitação de forma decrescente, acumulando a precipitação da série ordenada, e eliminando os eventos de precipitação a partir do momento em que o total acumulado atinge o valor de precipitação resultante da alteração climática para essa estação do ano.

Exemplificando: se a taxa de variação no Inverno é de -25%, a soma das precipitações de Inverno alterado deve ser 75% da soma das precipitações de Inverno da série actual; Ordenando os valores relativos a todos os invernos de forma decrescente e somando cada valor ao valor anterior, vai-se obtendo um valor de precipitação acumulado; quando este valor atinge os 75% da soma das precipitações de Inverno da série actual, colocam-se todas as restantes precipitações = 0, mantendo-se os valores das precipitações acima iguais aos da série actual.

Com esta metodologia privilegiam-se as precipitações mais elevadas em detrimento das menores tentando assim cumprir a premissa de que nos cenários de alterações climáticas as precipitações são mais concentradas.

Nos casos em que as taxas de variação assinalam um aumento da precipitação (em geral no Inverno), executa-se o critério anterior mas afectando previamente todos os valores da série de precipitação de um factor que é 1,5 vezes a taxa de variação. Exemplificando, se no Inverno a taxa de variação da precipitação é de +4%, todos os valores de precipitação do Inverno são multiplicados por 106%, e depois a série é ordenada de forma decrescente, eliminando-se os valores a partir dos quais a precipitação acumulada é superior a 104% da precipitação acumulada da série de precipitação actual.

De igual modo, ao longo de um ano, são aplicadas sucessivamente 4 taxas distintas de variação, para cada estação do ano.

2.2.2 Modificação das séries de temperatura

As séries de temperaturas, necessárias para o cálculo da evapotranspiração, são as séries de temperaturas mínimas e máximas mensais. Ao invés das precipitações, que podem não ocorrer num determinado dia ou conjunto de dias, a temperatura só foi modificada através do método da variação constante por estação do ano, onde cada temperatura é somada do valor da variação média correspondente à estação do ano a que pertence (as projeções indicam sempre subidas das temperaturas), sendo essa variação média constante para a mesma estação do ano, ao longo de toda a série de 30 anos, em conformidade com a variação prevista no modelo climático que se esteja a considerar. Deste modo, ao longo de um ano, são aplicadas sucessivamente 4 valores de variação média, uma para a Primavera, outra para o Verão, uma terceira para o Outono e uma última para o Inverno. Estes valores são distintos para as temperaturas máximas e para as temperaturas mínimas - Quadro 2.2.

2.2.3 Modificação das séries de evapotranspiração

Os modelos de alterações climáticas têm apresentado como resultados as alterações previstas, para além da precipitação média, das temperaturas máxima e mínima médias do ar (Quadro 2.1 e Quadro 2.2). As alterações de temperatura influenciam a evapotranspiração. Sendo assim, podem-se introduzir as alterações expectáveis na fórmula de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência.

Uma outra variável necessária à corrida do modelo BALSEQ_MOD é a humidade relativa mínima que é influenciada pela alteração das temperaturas mensais mínimas e máximas.

Uma vez que até à data não têm sido publicados resultados relativamente às previsões de alteração da velocidade do vento e da insolação, estas variáveis são congeladas na análise que se apresenta.

Os dados existentes, publicados nos anuários do Instituto de Meteorologia, são a temperatura máxima média mensal (T_{max}), a temperatura mínima média mensal (T_{min}), a humidade relativa média (HR_{med}), a velocidade do vento média mensal (u), e a insolação mensal (ins). Estes dados foram utilizados para estimar a evapotranspiração de referência no âmbito do plano de bacia hidrográfica das ribeiras do Algarve utilizando o método Penman-Monteith da FAO (Allen et al, 1998). São estes dados que são utilizados na modificação das séries de evapotranspiração de referência para os cenários de alterações climáticas.

O cálculo da humidade relativa para cenários de alterações climáticas é feito da seguinte forma:

1º - Cálculo da pressão do vapor de água (e_a), utilizando as temperaturas e a humidade relativa média atuais, mediante a equação:

$$e_a = HR_{med} \cdot e_s \quad (\text{Eq. 2.1})$$

sendo HR_{med} a humidade relativa média e e_s a pressão média de saturação do vapor dada pela equação:

$$e_s = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

sendo $e^o(T)$ a pressão do vapor de saturação (kPa) à temperatura T (°C):

$$e^o(T) = 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T + 237,3}\right) \quad (\text{Eq. 2.3})$$

2º - Assumindo que a pressão do vapor de água se mantém constante, estima-se a humidade relativa máxima e mínima mediante as equações:

$$HR_{max} = \frac{e_a}{e^o(T_{min})}; \quad HR_{min} = \frac{e_a}{e^o(T_{max})} \quad (\text{Eq. 2.4 e Eq. 2.5})$$

3º - Fazendo a média destes valores de humidade relativa máxima e humidade relativa mínima recalcula-se a humidade relativa média (HR_{med^*});

4º - Por este último processo verifica-se que, devido à não linearidade da variação da humidade relativa com a temperatura, o valor da humidade relativa média agora estimado é diferente do valor existente (HR_{med}). Com base nestes valores calcula-se um fator corretivo $corr_{HR}$ fazendo a relação HR_{med^*} / HR_{med} .

5º - No cálculo da evapotranspiração de referência no cenário de alterações climáticas vai-se considerar que a pressão do vapor de água se mantém como na série atual (o que é uma fragilidade do modelo uma vez que a quantidade de humidade do ar também variará).

6º - Assim, obtêm-se as humidades relativas mínimas e máximas considerando as temperaturas máximas e mínimas dadas pelos cenários de alterações climáticas (Eq. 2.4) e o e_a calculado anteriormente, tendo em atenção o comentário referido em 5º;

7º - Calcula-se a humidade relativa média a partir das humidades relativas calculadas em 6º e corrige-se esta humidade relativa média multiplicando-a pelo fator $corr_{HR}$

obtido em 4º para de alguma forma corrigir a não linearidade da variação da humidade relativa com a temperatura.

8º - O novo valor da humidade relativa média determinado para o cenário de alterações climáticas é utilizado para estimar a humidade relativa mínima necessária ao cálculo do modelo BALSEQ_MOD, rearranjando e resolvendo em ordem a HR_{min} as Eq. 2.4, Eq. 2.2 e Eq. 2.1:

$$HR_{min} = \frac{e^o(T_{max}) + e^o(T_{min})}{2 \cdot e^o(T_{max})} \cdot HR_{med} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Com os novos valores de humidade relativa e de temperatura, e mantendo as restantes variáveis da equação de Penman-Monteith constantes, calculam-se as séries de evapotranspiração de referência em cenários de alterações climáticas.

2.2.4 Impacto sobre a piezometria

A análise dos efeitos da variação da recarga obtida através dos cenários de alterações climáticas foi feita através da corrida do modelo matemático utilizando-se a variante 2 do modelo regional de fluxo (secção 1.3.4).

O modelo foi corrido quatro vezes, para cada uma das metodologias em cada um dos cenários. Note-se que nenhum dos restantes dados de entrada foram alterados.

2.2.4.1 Cenário de 2050 – Método de variação constante por estação do ano

A corrida do modelo para a obtenção dos valores de recarga nos cenários futuros, pela aplicação do método de variação constante por estação do ano para a série de precipitação com taxas de variação consideradas pelo SMHIRCA_ECHAM5 permitiu analisar espacialmente, pela integração destes dados no modelo, as zonas em que se registam variações importantes.

Em geral, os valores de recarga obtidos para este cenário apontam para o diminuição generalizada - Figura 2.1. Essa distribuição espacial diminuição pode ser avaliada através do cálculo da relação entre os valores de recarga estimados para o cenário de 2051 e para a situação atual – Figura 2.2.

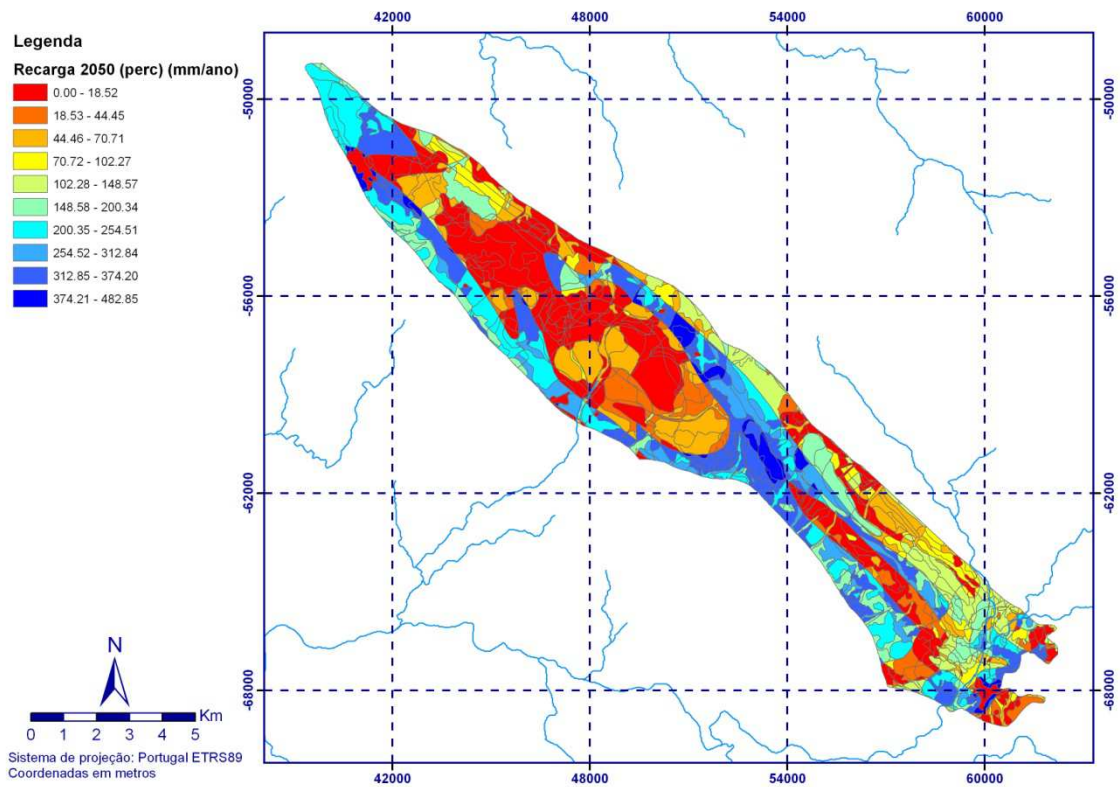


Figura 2.1 – Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano

Comparativamente aos valores da recarga calculados pelo modelo de balanço hídrico sequencial diário a Figura 2.2 permite observar que existe uma diminuição generalizada dos valores da recarga, excetuando-se em áreas muito restritas em que se regista o inverso.

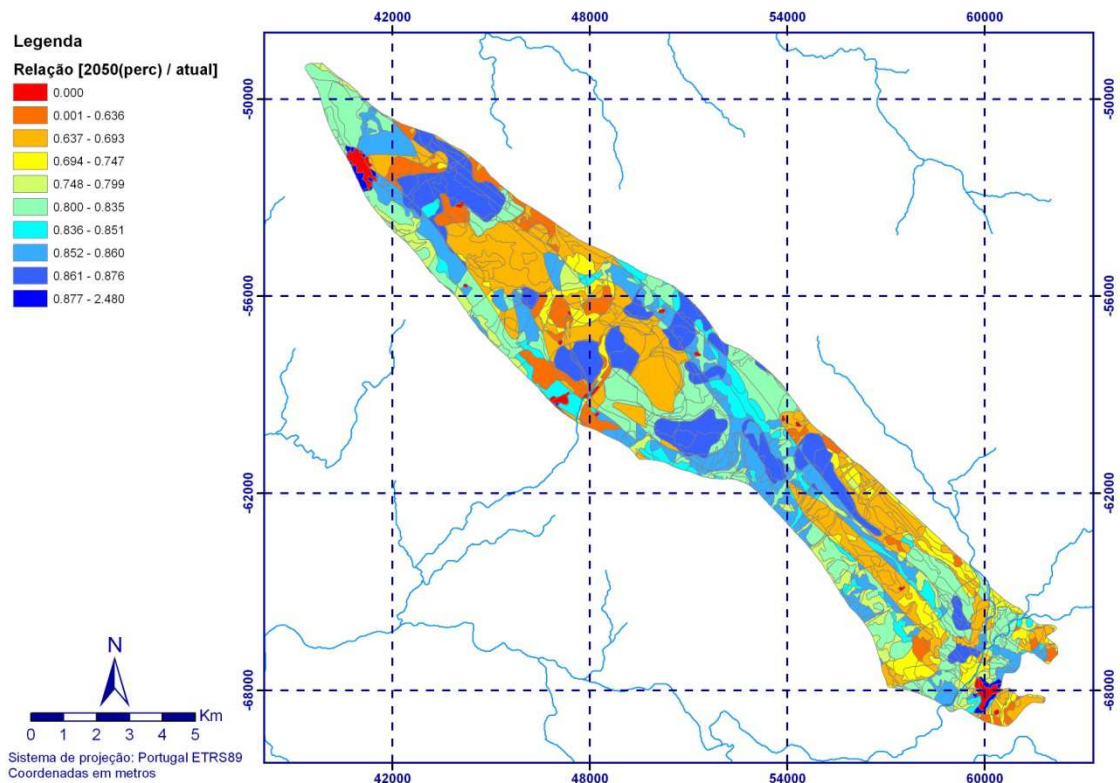


Figura 2.2 – Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual

É assim possível observar que a variação será nula nas áreas urbanas (em particular em Alter do Chão e Monforte). Nos restantes casos essa variação encontra-se distribuída de forma bastante heterogénea não sendo possível determinar um zonamento dentro da área do sistema.

A partir dos resultados do modelo foi possível determinar, através da comparação e cálculo da diferença entre os valores de piezometria atuais e futuros, quais as zonas que sofrem um maior impacto induzido pela diminuição da recarga – Figura 2.3.

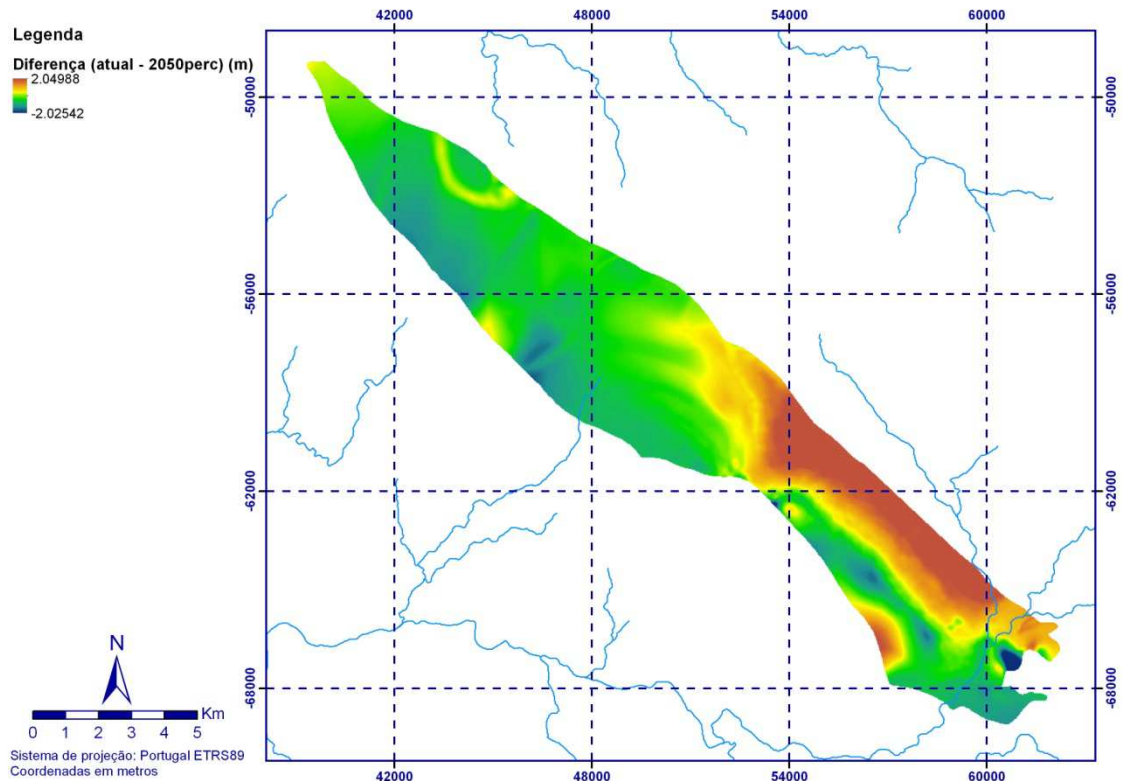


Figura 2.3 – Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

Embora exista uma variação significativa dos níveis, em particular numa área restrita no sector ESE do sistema (zona marcada a laranja) com valores que podem atingir os 2 metros de diminuição, nota-se que em geral não existirá uma diminuição no sector NW, com a manutenção dos níveis (zona marcada a verde).

Foi ainda possível determinar, com o apoio do modelo digital do terreno para área de estudo qual a profundidade ao nível e qual a sua evolução. Na Figura 2.4 e Figura 2.5 apresenta-se a profundidade ao nível para a situação atual e na Figura 2.6 e Figura 2.7 o mesmo parâmetro para o cenário proposto.

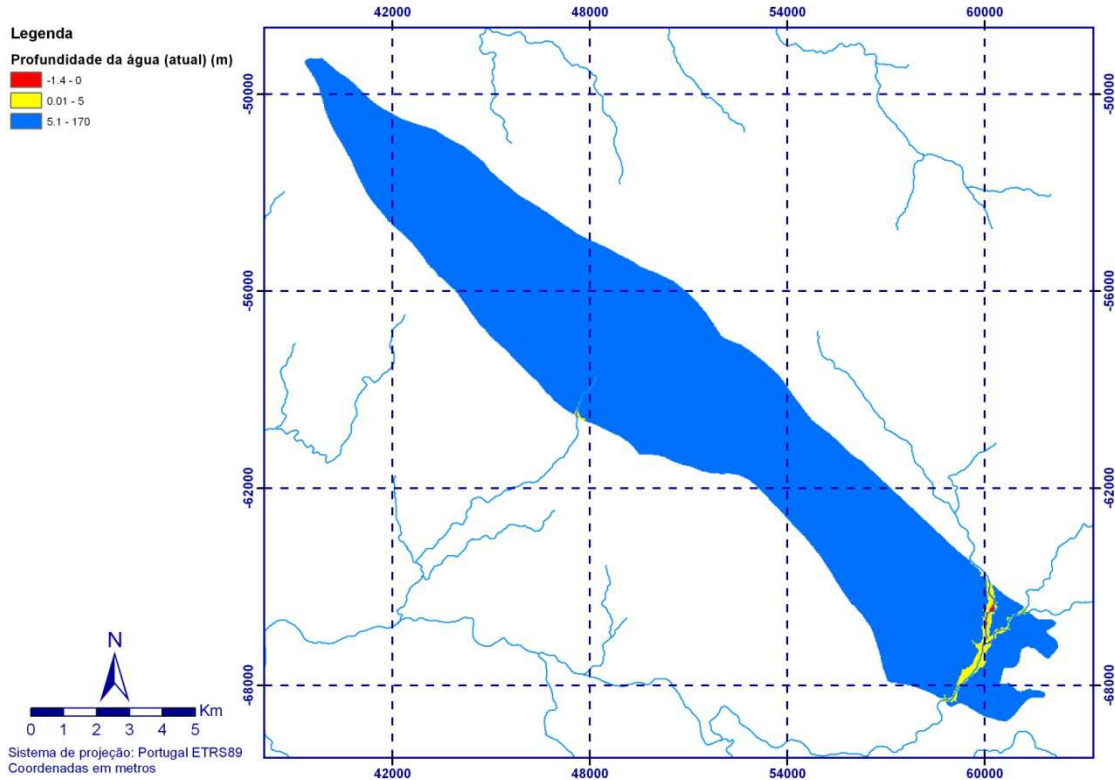


Figura 2.4 – Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual

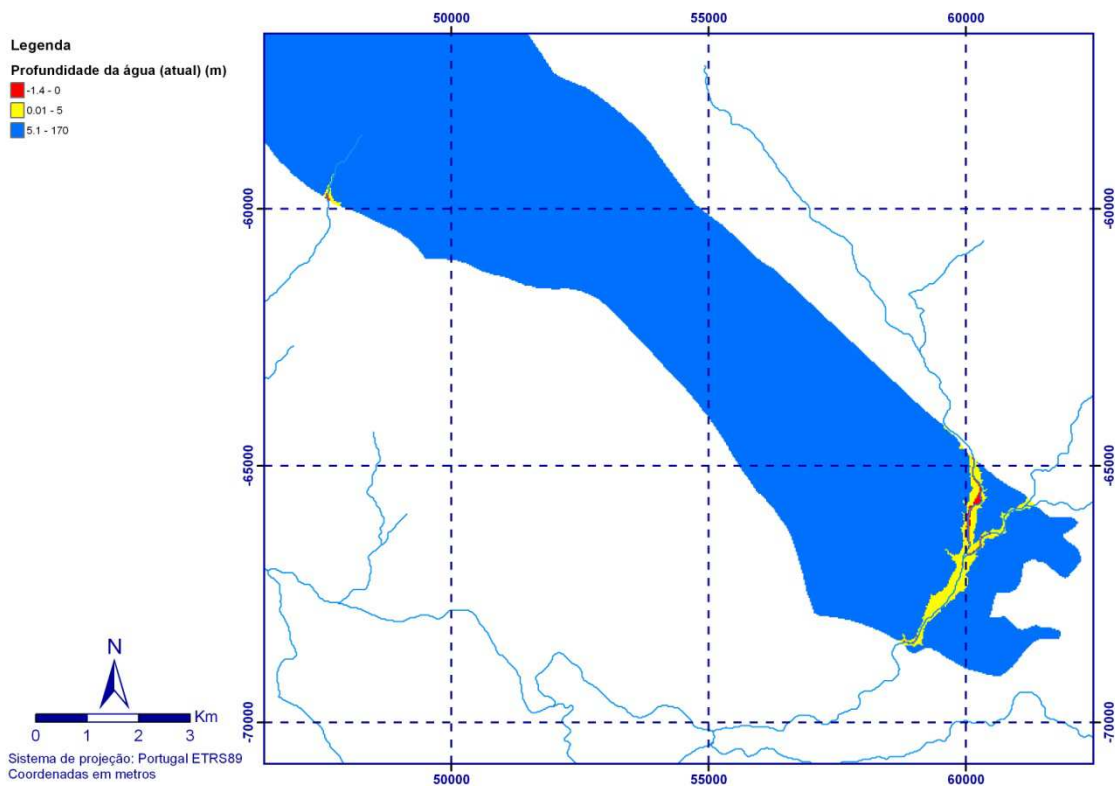


Figura 2.5 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para a situação actual

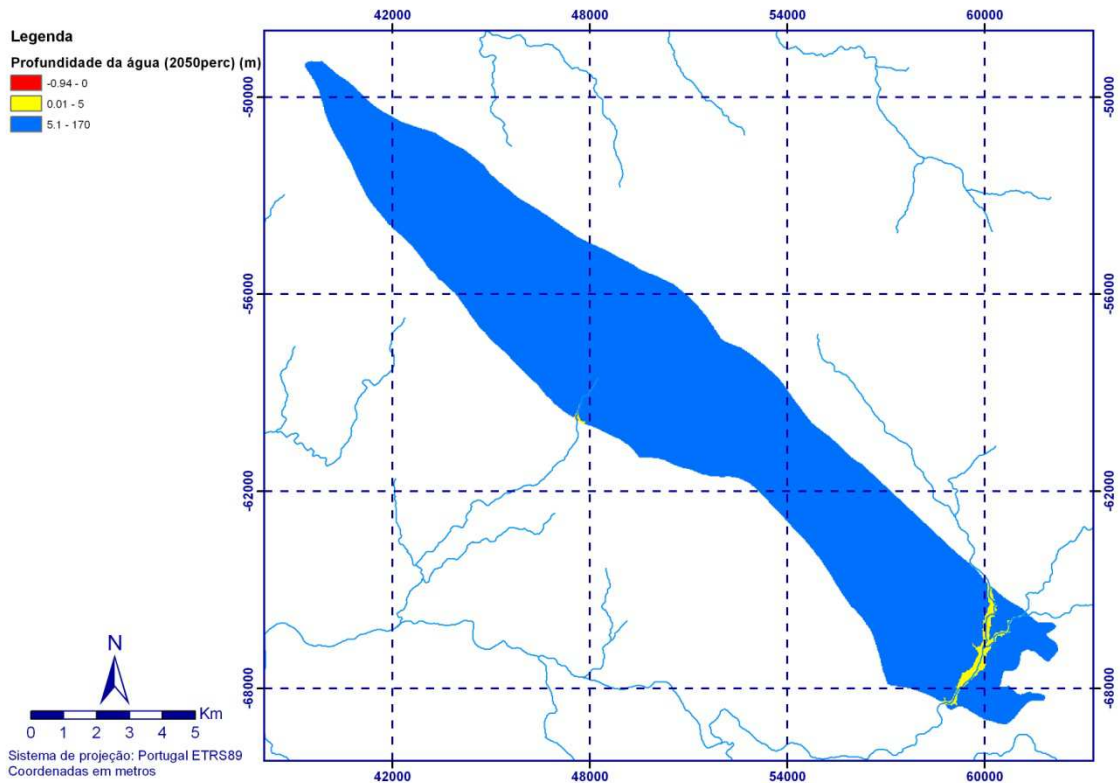


Figura 2.6 – Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano

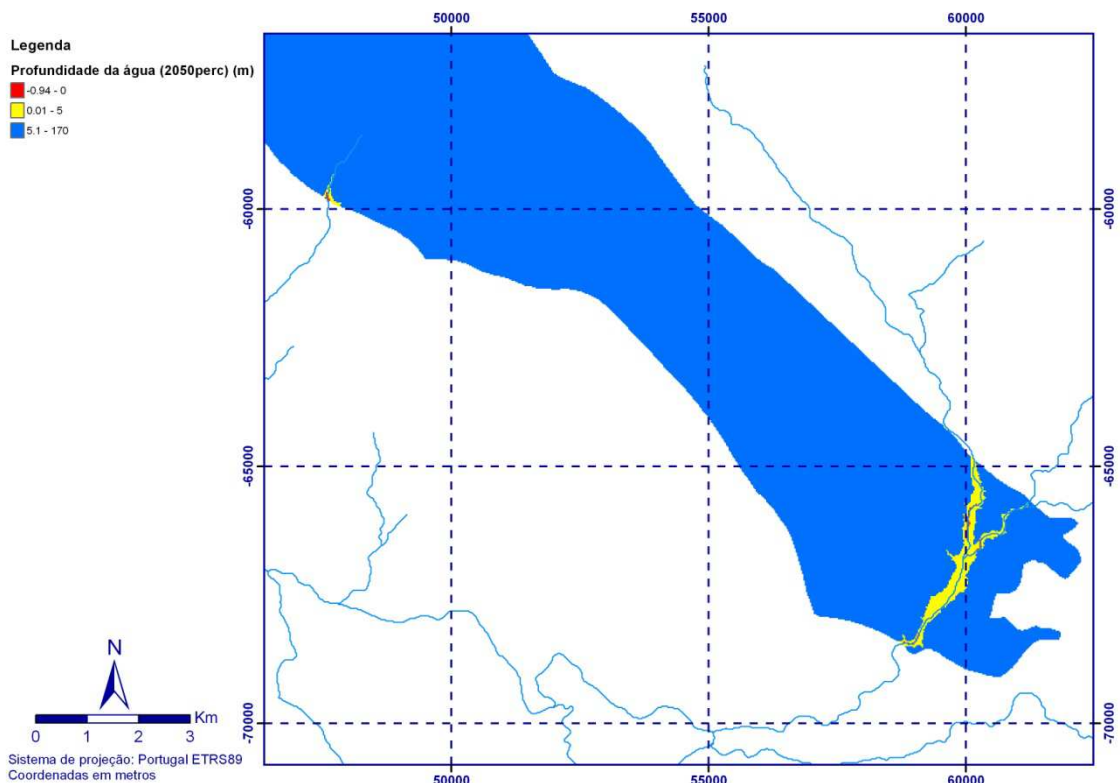


Figura 2.7 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação constante por estação do ano

Nas figuras as zonas a vermelho podem considerar-se as zonas em que a água se encontra acima da superfície topográfica (valor da profundidade ao nível inferior a 0).

O segundo intervalo representado na escala resulta da análise dos valores da piezometria no conjunto de pontos de água com dados disponíveis (através do SNIRH). O Quadro 2.3 apresenta esses valores para o período de 2008 a 2011.

Quadro 2.3 – Variação do nível piezométrico em três pontos na área do sistema aquífero de Monforte – Alter do Chão

Data	Nível piezométrico (m)		
	370/5	371/45	384/103
12-02-2008	-	294.37	-
04-12-2009	-	292.68	308.70
28-01-2010	-	295.26	311.06
26-02-2010	-	295.81	311.60
27-04-2010	-	295.18	311.32
28-06-2010	-	293.90	310.53
26-10-2010	-	292.88	309.53
30-11-2010	-	293.05	309.77
28-01-2011	-	295.27	311.38
25-03-2011	250.28	295.08	311.28
01-06-2011	251.14	294.52	310.77
27-06-2011	-	294.03	310.37
28-06-2011	251.05	-	-
25-07-2011	-	293.71	310.04
26-07-2011	250.98	-	-
26-08-2011	250.96	-	-
29-08-2011	-	293.31	309.67
Máximo	251.14	295.81	311.60
Mínimo	250.28	292.68	308.70
Diferença (max-min)	0.86	3.13	2.90

Determinou-se que o valor máximo da variação piezométrica é de 3,13 m. Não se conhecendo qual o possível impacto nesta variação mas considerando a diminuição da recarga e conseqüentemente uma diminuição da piezometria, atribui-se o valor de 5 metros como o limite máximo de variação possível. Assim nos mapas das Figura 2.4, Figura 2.5, Figura 2.6 e Figura 2.7 apresentam-se a amarelo (área entre os 0 e 5 m) as áreas que estão sujeitas a maior variação piezométrica segundo os critérios apresentados.

Embora não se verifique uma variação acentuada destas zonas, é evidente pela observação destas duas figuras que no cenário de 2050 as áreas em que existe água

acima da superfície (zonas sensíveis de ecossistemas associados a águas subterrâneas) diminuirão de forma relativamente acentuada.

2.2.4.2 Cenário de 2050 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Embora não se registem grandes diferenças em termos espaciais no resultado da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD para o cálculo da recarga segundo esta metodologia de determinação da série de precipitação, denota-se uma ligeira diminuição generalizada no valor de recarga obtido – Figura 2.8.

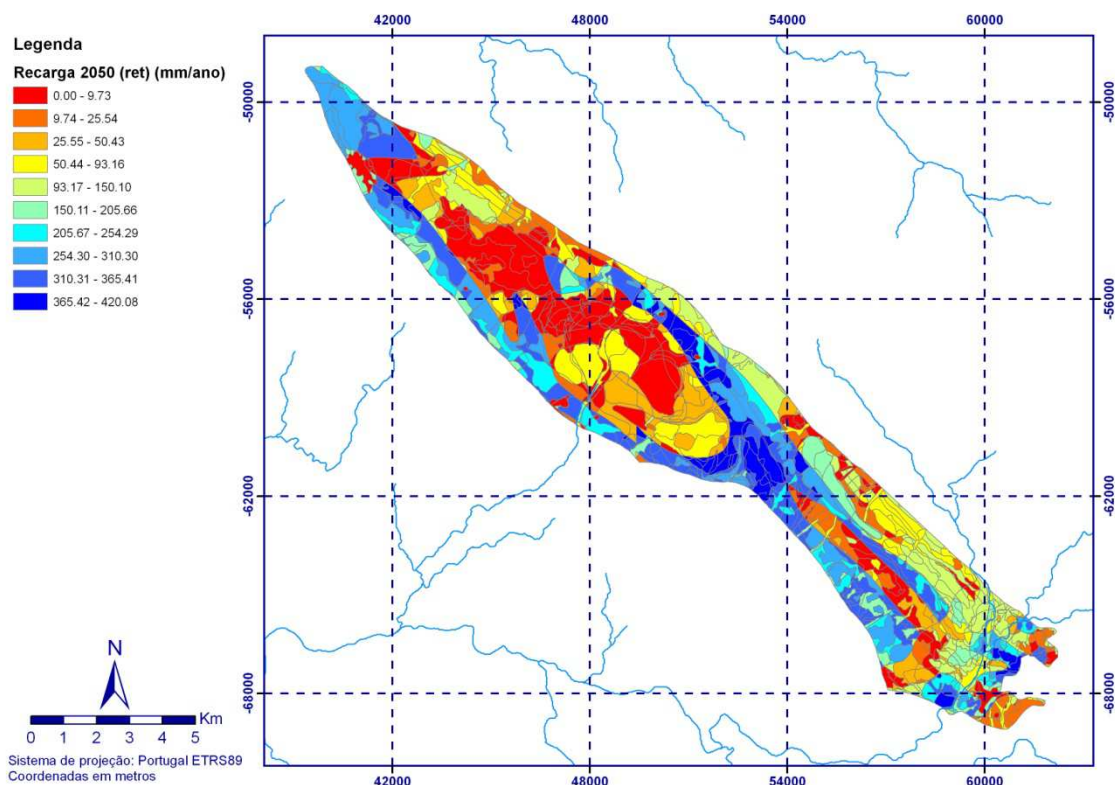


Figura 2.8 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

No sentido de se proceder à comparação dos dados apresentados na Figura 2.8 com os valores de recarga registados actualmente foi calculada uma relação entre ambos - Figura 2.9.

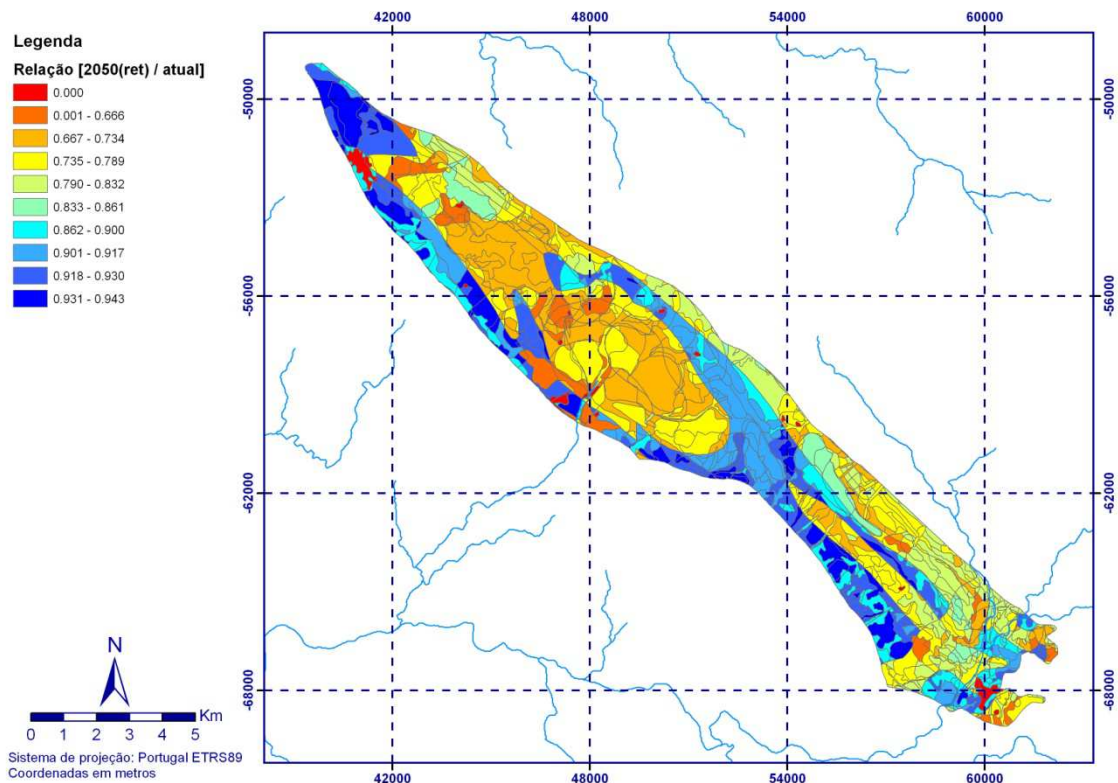


Figura 2.9 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Em geral, regista-se uma diminuição generalizada dos valores da recarga para este cenário, apresentando valores muito semelhantes aos da Figura 2.2 (mesmo horizonte). Verifica-se no entanto que ao contrário dessa mesma figura, nesta não existem áreas de aumento da precipitação.

A variação média entre as duas metodologias de tratamento das séries de precipitação é de cerca de 78% (devido às áreas em que se regista aumento da recarga comparativamente à situação de referência), apresentando a metodologia de variação constante por estação do ano uma maior amplitude de valores.

O resultado de saída de corrida do modelo numérico, corrido para a representação espacial apresentada, representa a base partir do qual é possível calcular a diferença entre a piezometria actual e a piezometria para o cenário de 2050 segundo o método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano – Figura 2.10.

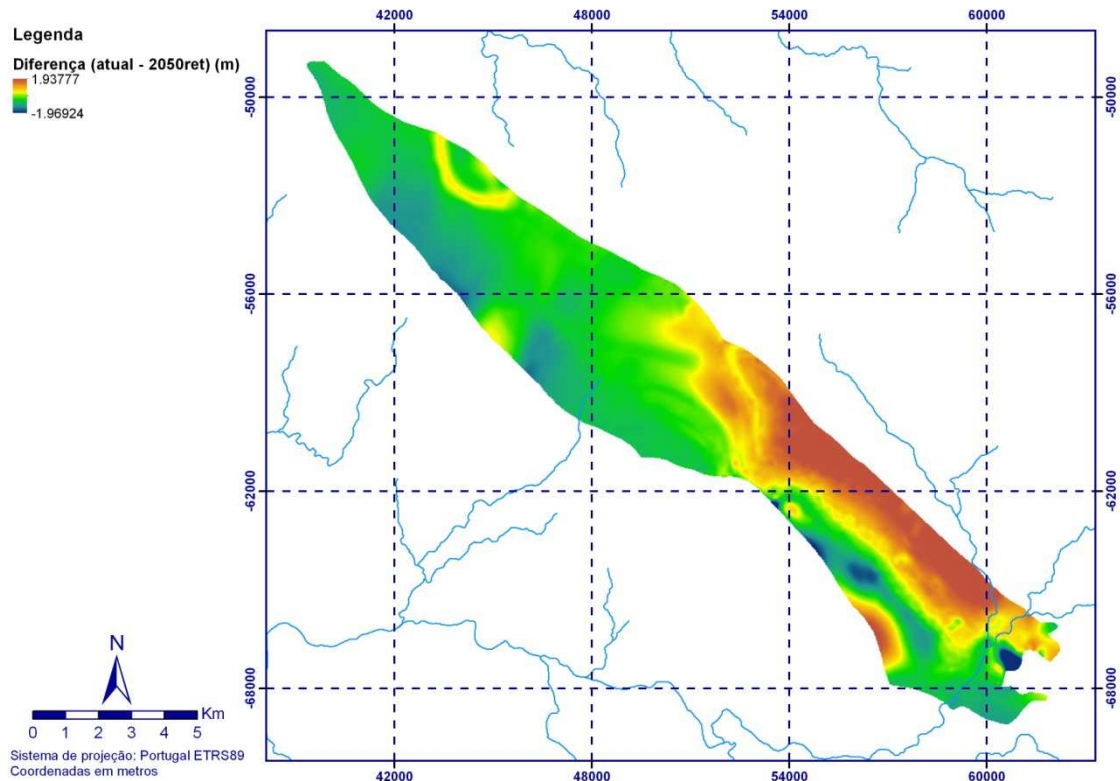


Figura 2.10 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2050 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

À semelhança do que se regista para o cenário de 2050 apresentado na secção 2.2.4.1, a diminuição mais acentuada (aproximadamente 2 metros) localiza-se nas zonas delimitadas a laranja. Já as zonas a azul escuro, em que se regista uma subida do nível piezométrico que pode ascender igualmente aos 2 metros são muito restritas e podem estar associadas a zonas em que uma correcta calibração do modelo não é possível.

Tal como no cenário apresentado anteriormente procurou-se verificar, segundo a mesma metodologia e intervalos de análise, quais as áreas em que se regista uma maior diferença do nível piezométrico em relação à topografia, comparando-as com a Figura 2.11 e Figura 2.12, que apresenta a situação actual.

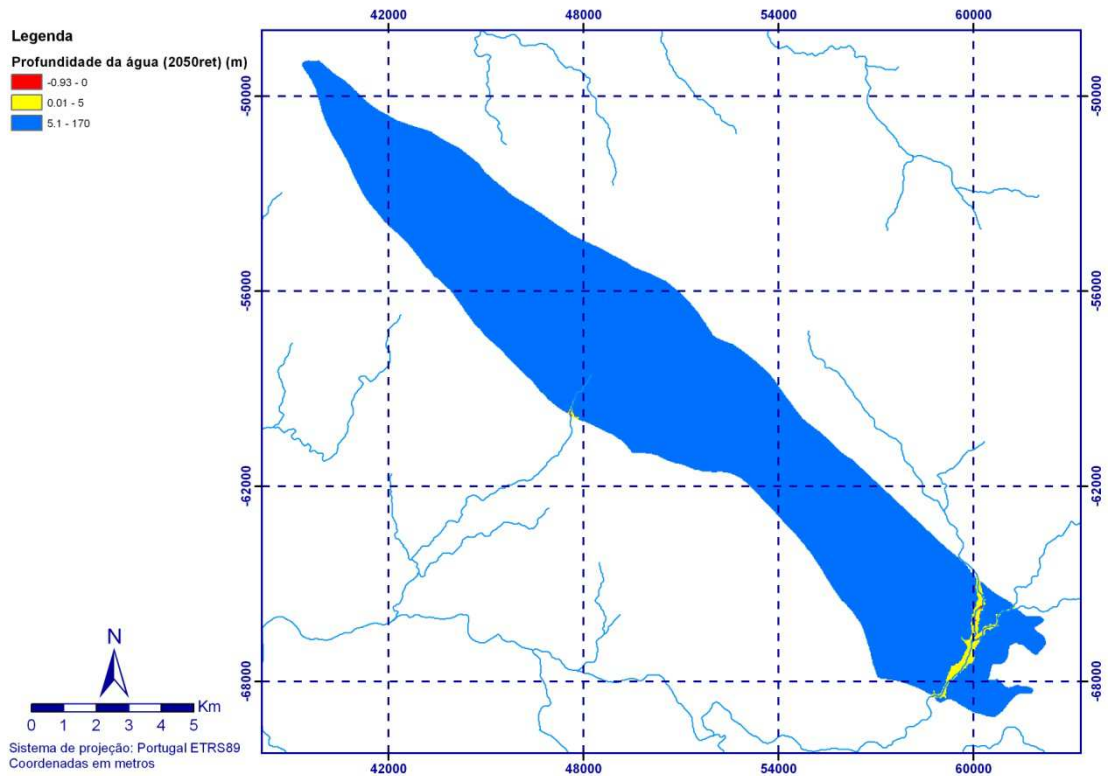


Figura 2.11 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano

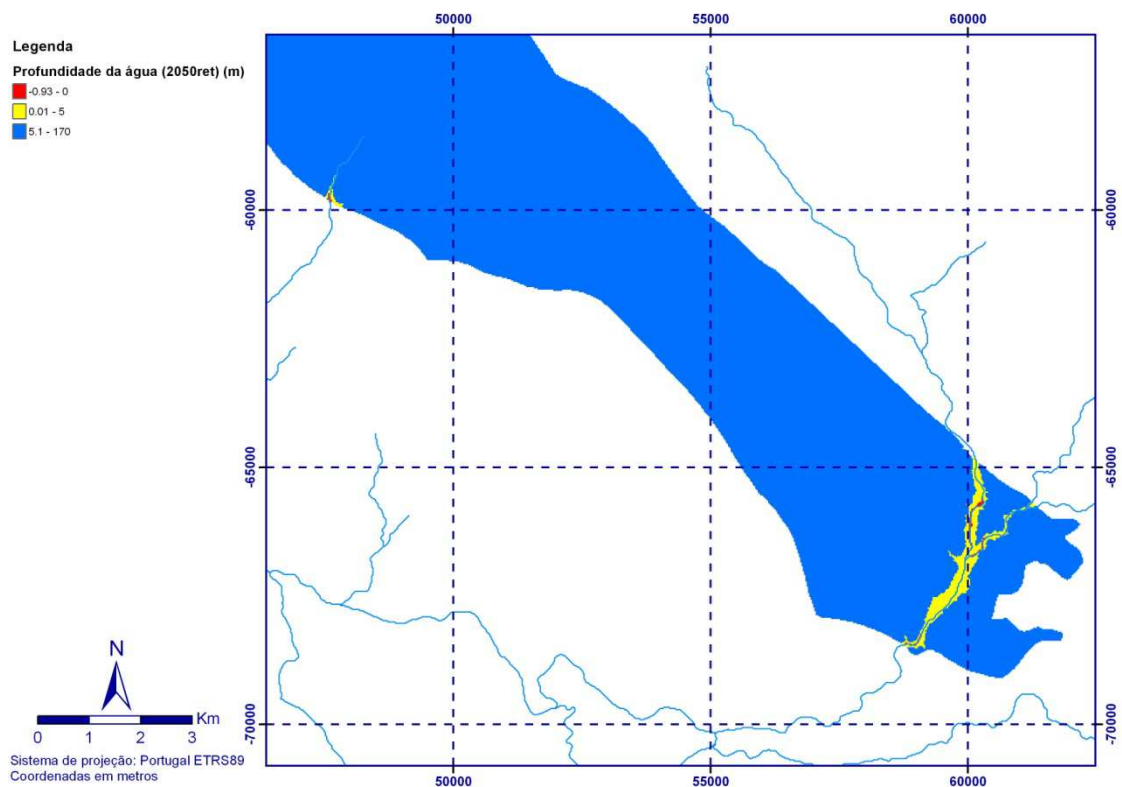


Figura 2.12 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2050 pelo método de de variação constante por estação do ano

Se compararmos a Figura 2.11 com a Figura 2.4 em que se apresenta para o mesmo período (2050) mas com métodos de modificação da série de precipitação diferentes, pode observar-se que as áreas correspondentes ao intervalo $-0.93 - 0$ (marcadas no mapa a vermelho), que se podem considerar as zonas húmidas em que a água se encontra acima da superfície, têm maior extensão.

Comparativamente à situação de referência a diminuição dessas áreas não é tão acentuada.

2.2.4.3 Cenário de 2080 – Método de variação constante por estação do ano

Utilizando a mesma metodologia apresenta-se na Figura 2.13 os valores de recarga distribuídos espacialmente para o cenário de 2080 através da corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD com o método de determinação da série de precipitação de variação constante por estação do ano.

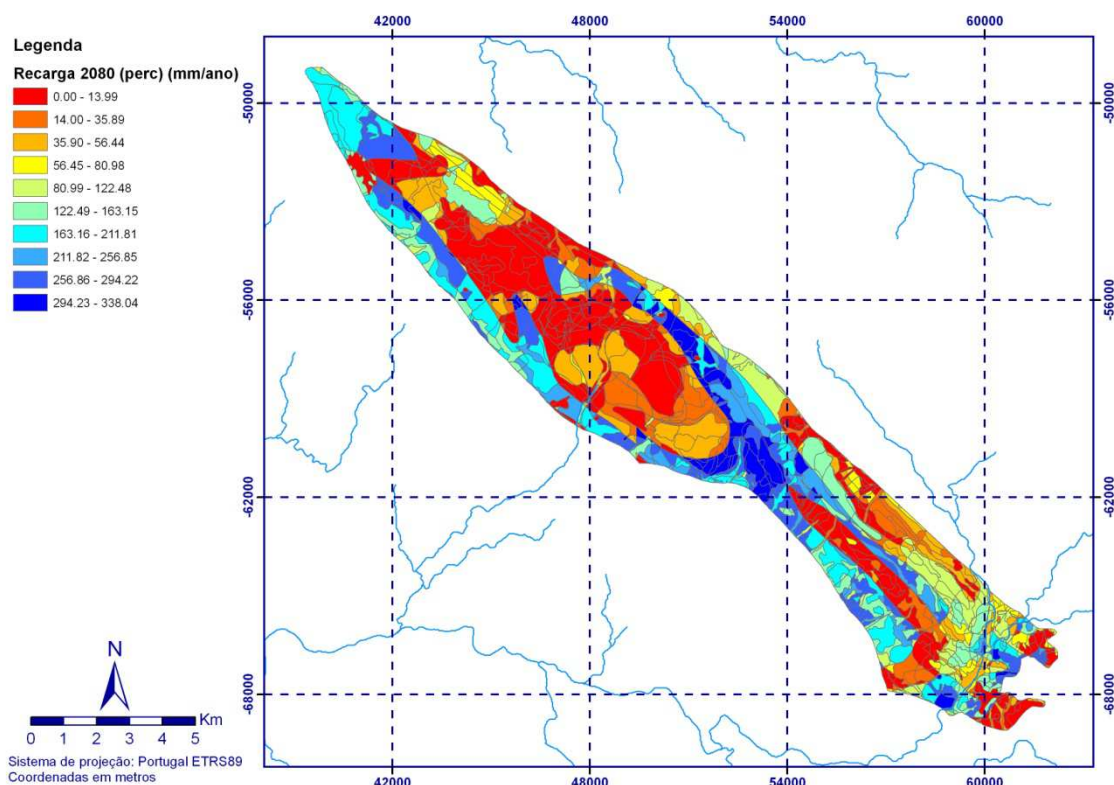


Figura 2.13 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano

Numa análise comparativa expedita da recarga para a situação atual e da recarga para o cenário de 2080 obtida pelo método de variação constante por estação do ano, foi calculada a relação entre ambas – Figura 2.14 – sendo possível observar que em algumas áreas a recarga futura representa para os casos mais severos apenas 1% da

recarga atual, e nos casos menos graves, 75% da recarga calculada para a situação de referência.

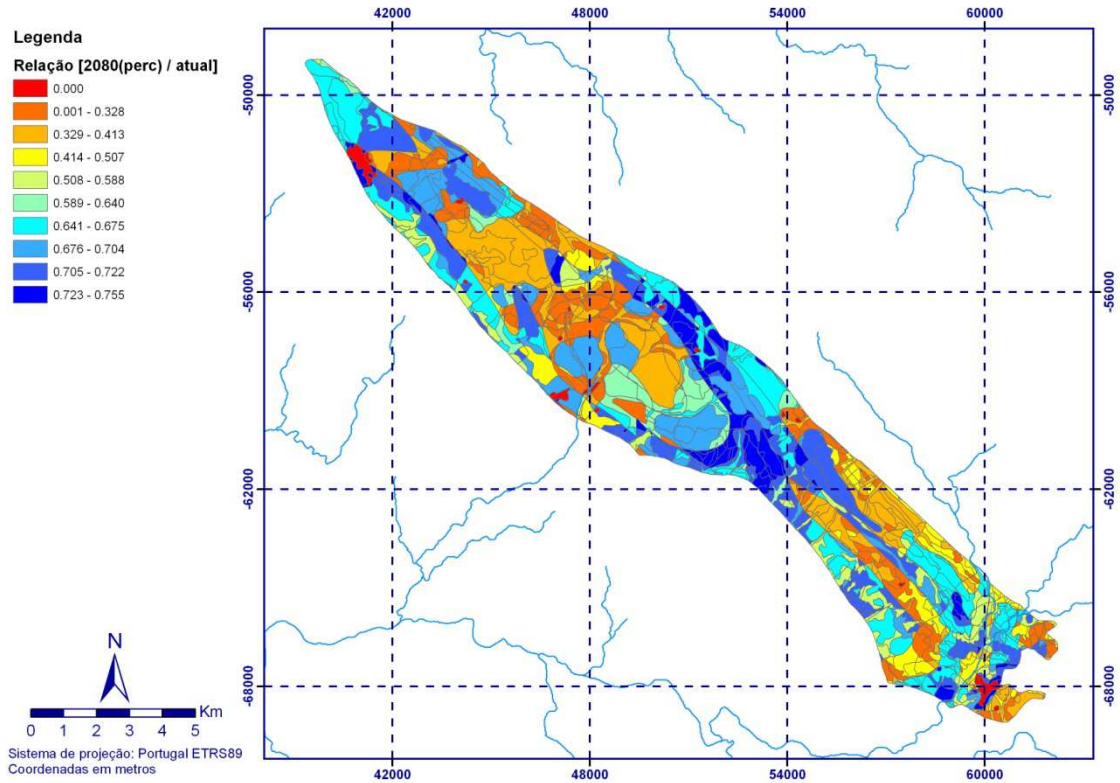


Figura 2.14 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano e a recarga calculada para situação actual

Integrando os dados de recarga, correndo o modelo numérico, e comparando-se o resultado obtido com o resultado obtido na corrida do modelo representativo da situação atual obtém-se a representação espacial apresentada na Figura 2.15.

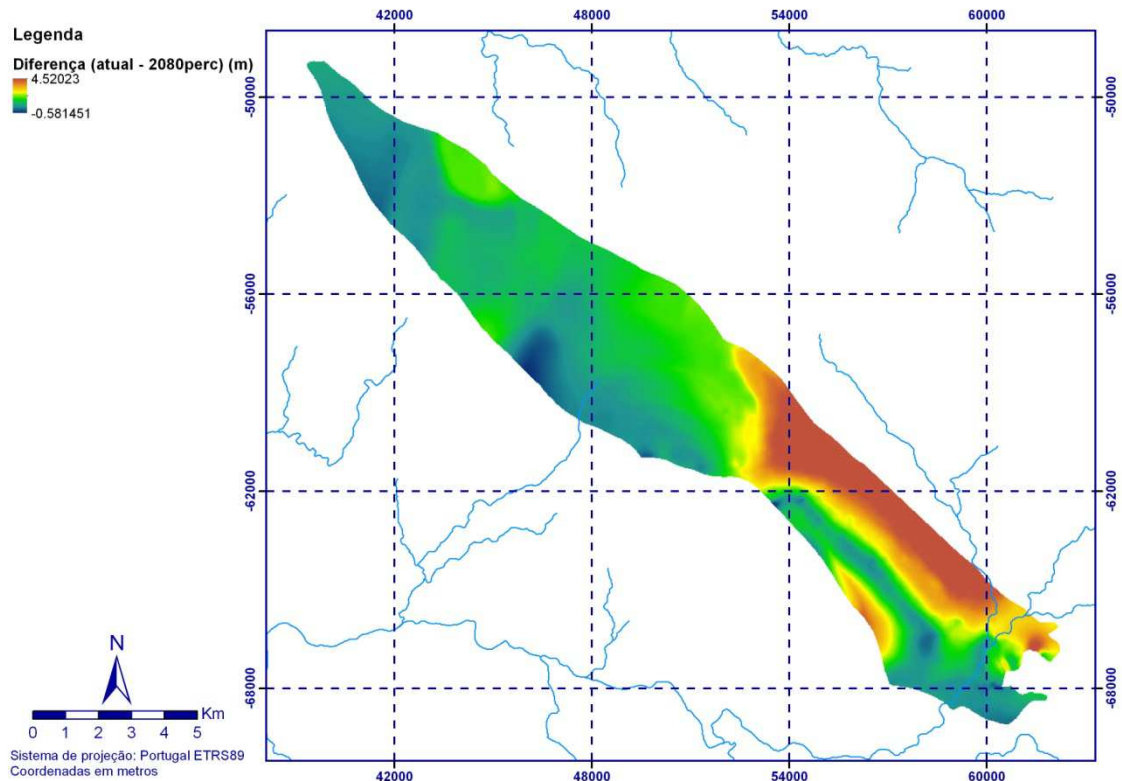


Figura 2.15 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação constante por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

Em geral a distribuição espacial das áreas de maior variação do nível piezométrico são muito semelhantes à obtida nos cenários de 2050, apesar de existir uma variação muito maior, que em alguns pontos (em particular no sector ESE) pode atingir os 4,5 metros. Trata-se de uma variação de níveis muito acentuada. Já no extremo oposto, é muito menor a extensão das áreas em que se regista uma subida dos níveis e essa subida é igualmente menor (atingindo os 50 centímetros, enquanto que para os cenários de 2050 poderia alcançar os dois metros de subida).

O impacto de uma descida tão acentuada nos níveis pode ser observado na Figura 2.16 e Figura 2.17.

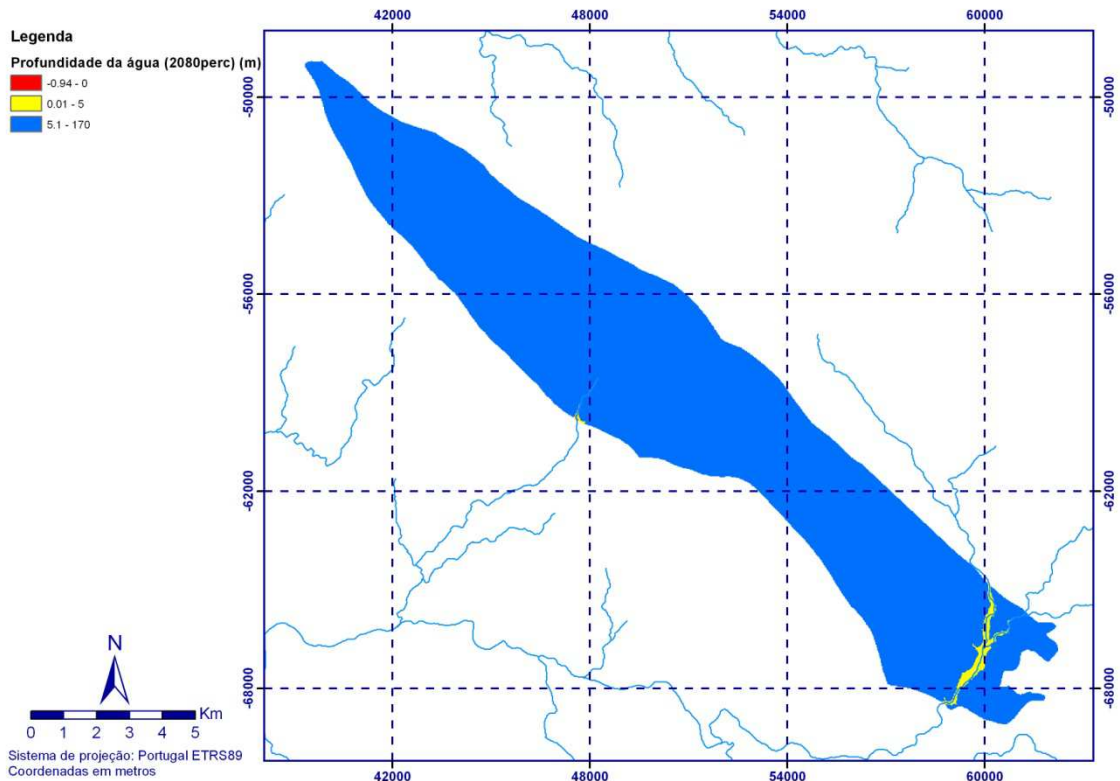


Figura 2.16 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano

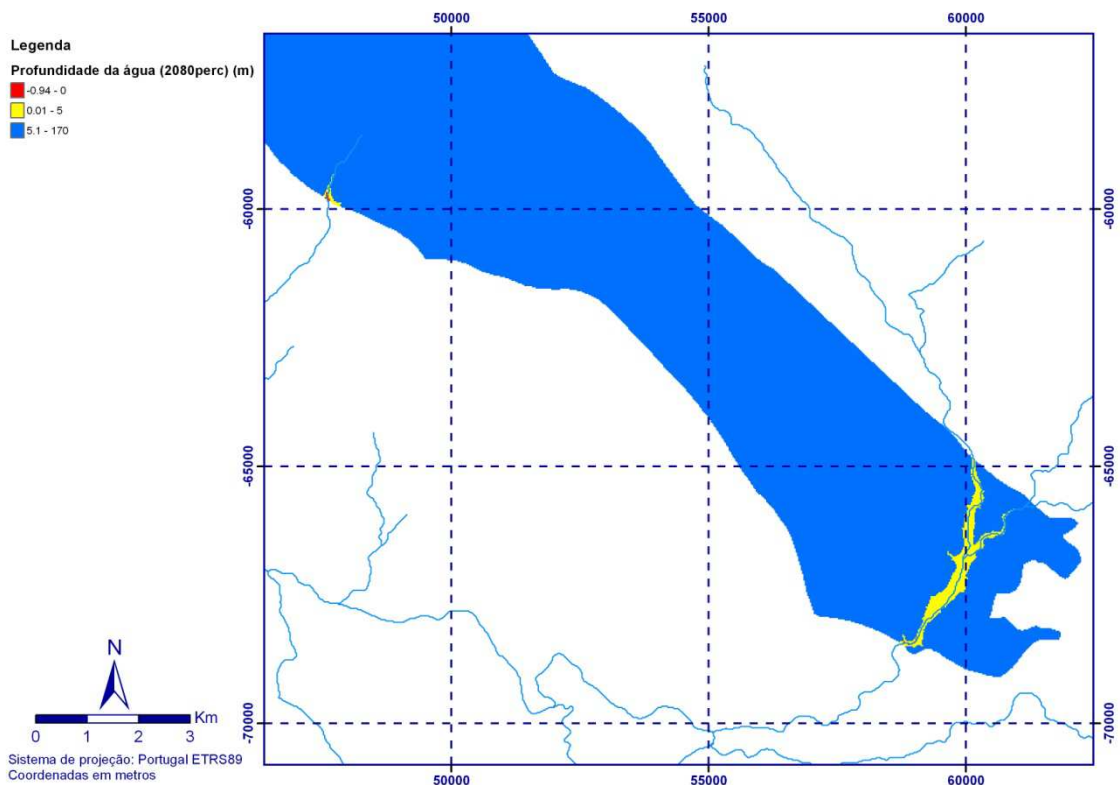


Figura 2.17 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de de variação constante por estação do ano

Comparativamente à situação de referência a área das zonas em que o valor do nível da água é negativo, isto é, áreas em que existe água acima da superfície topográfica, é praticamente nula. A diminuição da recarga, e consequente diminuição de níveis piezométricos implica portanto um impacto acentuado sobre as zonas húmidas dependentes de águas subterrâneas.

2.2.4.4 Cenário de 2080 – Método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

A análise da distribuição espacial da recarga, apresentada na Figura 2.18, obtida pela corrida do modelo BALSEQ_MOD para o método variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano nas séries de precipitação, permite verificar a diferença de aproximadamente 30 mm/ano entre os dois métodos para o mesmo período (2080), registando-se neste caso valores em geral mais elevados.

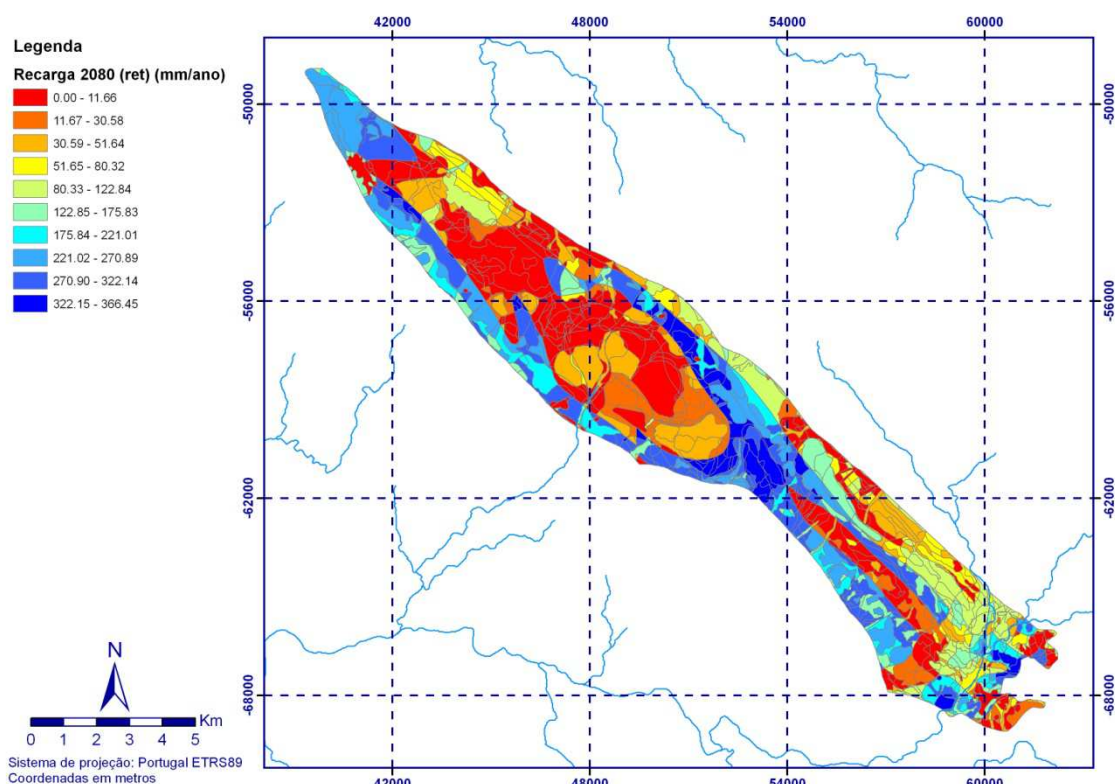


Figura 2.18 - Distribuição espacial dos valores de recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Fazendo a comparação com os valores de recarga calculados para a atualidade, através do cálculo da relação que se apresenta na Figura 2.19, pode observar-se que se regista para esta metodologia de tratamento das séries de precipitação uma

diminuição da recarga para este cenário em toda a área do sistema, sendo o impacto variando entre os 20% e 84% da recarga atual.

Comparativamente à Figura 2.14, verifica-se que o método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano resulta, neste caso, em valores de recarga cerca de 10% superiores.

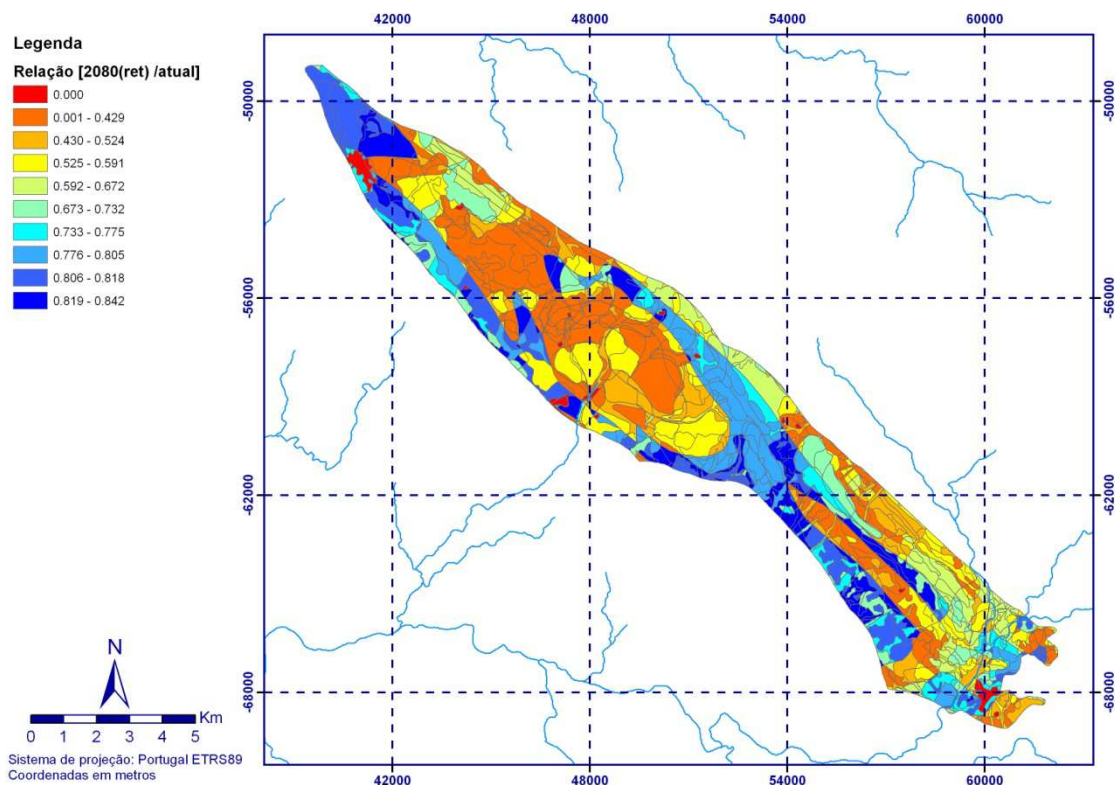


Figura 2.19 - Relação entre a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

A corrida do modelo numérico integrando os valores obtidos na figura anterior permitiram determinar a diferença entre o nível piezométrico da situação de referência e o cenário de alterações climáticas, apresentada na Figura 2.20.

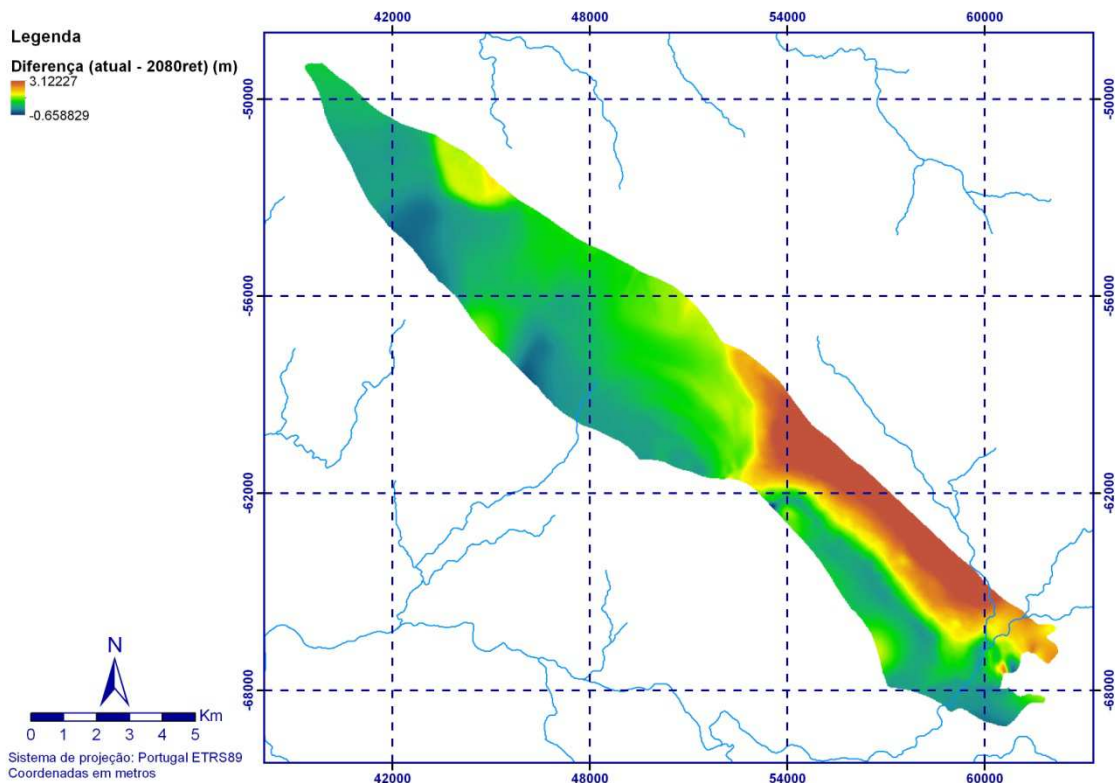


Figura 2.20 - Diferença entre o nível piezométrico obtido para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano e o nível obtido para a situação actual

Comparando com o cenário de 2080 calculado pelo método de determinação de variação constante por estação do ano, a diferença entre a situação actual e este cenário não é tão acentuada (com um máximo de 3,1 m em relação a 4,5 m obtidos anteriormente). As áreas em que se regista maior variação localizam-se igualmente no sector ESE da área do sistema.

A Figura 2.21 apresenta, em diferentes intervalos, a distribuição espacial dos valores da profundidade do nível da água.

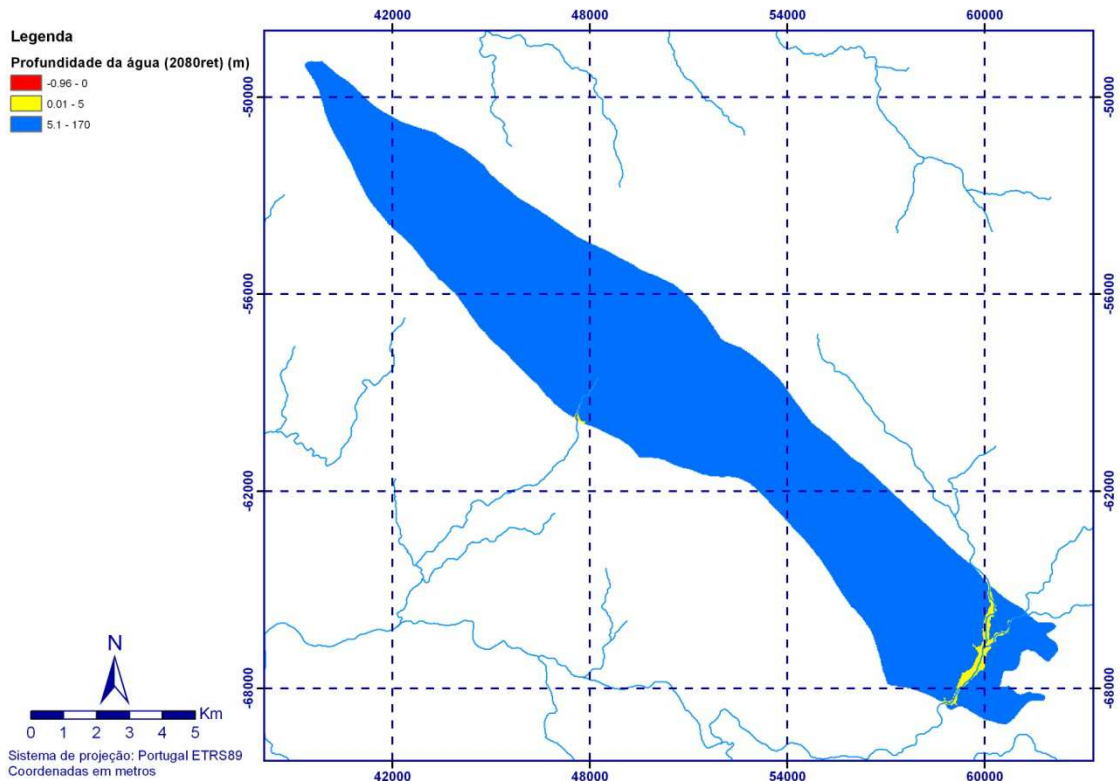


Figura 2.21 - Profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

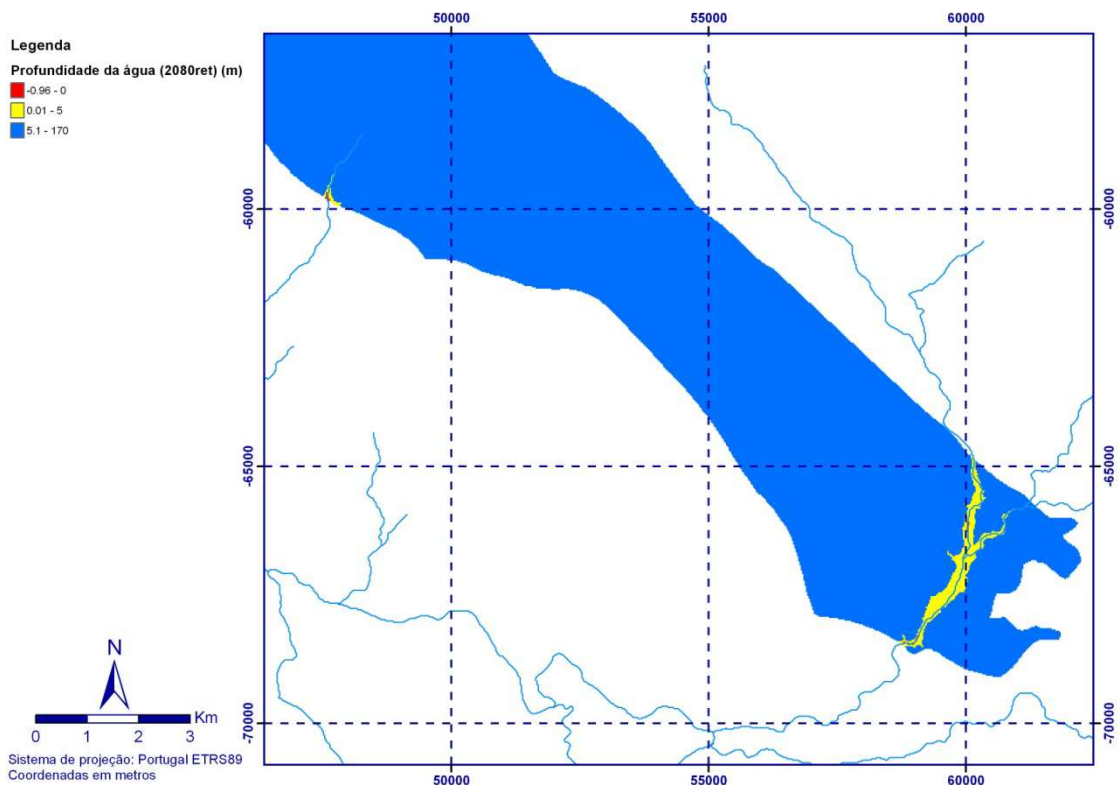


Figura 2.22 – Pormenor do mapa de profundidade do nível da água obtido pela determinação da superfície piezométrica na corrida do modelo com a recarga calculada para o cenário de 2080 pelo método de variação removendo os eventos menores de precipitação por estação do ano

Embora a área correspondente às zonas onde o nível da água é negativo e se encontra acima da superfície topográfica seja relativamente superior quando comparada com o cenário anterior de 2080, verifica-se que é igualmente bastante inferior à área obtida para estas zonas na situação atual.

Mais uma vez o principal impacte dá-se nestas áreas muito sensíveis às alterações ao nível das águas subterrâneas.

2.3 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE OS RESULTADOS DOS TRABALHOS DE MODELAÇÃO REALIZADOS PARA CENÁRIOS DE VARIAÇÃO DA RECARGA INDUZIDA PELAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A modelação da recarga segundo cenários prospetivos de alterações climáticas permite-nos em comparação com os valores obtidos para a situação de referência perceber qual a amplitude do impacto induzido.

Em geral, a corrida do modelo de balanço hídrico sequencial diário com um conjunto de parâmetros de entrada alterados, sem que se considerasse uma alteração na ocupação do solo, permitiu obter os valores de recarga em função das associações solo/ocupação do solo, que são em geral inferiores que os obtidos para a situação atual. Assim, pode concluir-se que para cenários futuros os valores de recarga acompanham, como seria de esperar, a tendência de diminuição consequência da diminuição da precipitação.

O impacto da diminuição desta componente de entrada nos sistemas aquíferos irá refletir-se essencialmente numa tendência progressiva de rebaixamento dos níveis piezométricos.

No sistema aquífero de Monforte – Alter do Chão esse rebaixamento será sentido com maior intensidade na região ESE, com diminuições dos níveis menos acentuadas na restante área e zonas muito restritas em que se regista uma inversão e consequente subida dos níveis (o que se observa nos cenários previstos para 2050).

Esta diminuição generalizada dos níveis em ambos os períodos de análise (2050 e 2080) terá uma consequência muito específica ao nível dos ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS), registando-se uma diminuição progressiva, segundo a corrida do modelo, das áreas em que o nível da água se encontra acima da superfície, mantendo-se no entanto quase inalterada nos diferentes cenários a área sujeita à variação máxima considerada de 5 metros.

VISTOS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas
Laboratório Nacional de Engenharia Civil




Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente
Laboratório Nacional de Engenharia Civil


AUTORIAS



J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Dr.-Ing. Habil. em Engenharia Civil



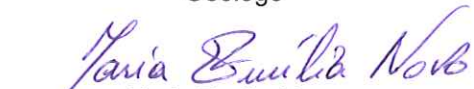
José Paulo Monteiro
Doutor em Hidrogeologia



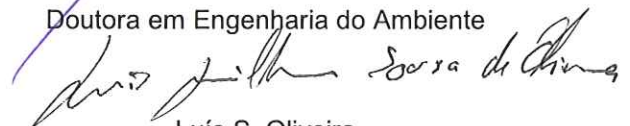
Manuel Mendes Oliveira
Doutor em Hidrogeologia




Tiago Martins
Geólogo




Maria Emília Novo
Doutora em Engenharia do Ambiente



Luís S. Oliveira
Mestre em Engenharia do Ambiente



Teresa E. Leitão
Doutora em Hidrogeologia



Maria José Henriques
Geóloga

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G, Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Irrigation and Drainage Paper, nr. 56.
- Almeida, C., Mendonça, J., Jesus, M., e Gomes, A. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água, Portugal.
- Bear, B.; Verruijt, A. (1987). *Modeling Groundwater Flow and Pollution*. D. Reydel Publishing Company. Dordrecht. 414pp.
- Carvalho, A.H., Costa, A.M. (1998). *Sistema Aquífero Monforte-Alter do Chão, uma das Áreas de Intervenção Detalhada do IGM no Projeto de Estudo dos Recursos Hídricos, Subterrâneos do Alentejo*. 4º Congresso da Água "A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento", Lisboa, 23 a 27 de Março, pp. 14.
- Costa, A. (1995). *Avaliação de Recursos Hídricos Subterrâneos na Herdade de Torre de Palma*. Relatório Interno. Instituto Geológico e Mineiro. IGM, Lisboa.
- De Marsily, G. (1986). *Quantitative Hydrogeology*. Academic Press. San Diego. USA. 440 pp.
- Fernandes, J.; Ribeiro, L. (1999). *Análise Espaço-Temporal da Piezometria do Sistema Aquífero Monforte – Alter do Chão*. Seminário sobre Aguas Subterrâneas, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa.
- Fernandes, J.; Ribeiro, L. (2001). *A Geomathematical Approach to Characterizing the Spatio-Temporal Groundwater Flow in Monforte-Alter do Chão Aquifer, Portugal*. Proceedings of the XXXI International Association of Hydrogeologists Congress - New Approaches Characterizing Groundwater Flow, Munich, Germany.
- Fernandes, J. (2001). *Sistema Aquífero Monforte-Alter do Chão. Fichas dos Sistemas Aquíferos do Alentejo. Anexo II do Relatório Técnico do ERHSA (IGM)*. Publicado pela Comissão de Coordenação da Região Alentejo, Évora, 139 pp.
- Fernandes, J.; Francés, A. (2002). *Sistema Aquífero Monforte - Alter do Chão. Resultados Obtidos no Âmbito do Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA)*. Resumo de Posters, 6º Congresso da Água, Porto, 18 a 22 de Março.
- Fernandes, J.; Francés, A. (2010). *Sistema Aquífero Monforte-Alter do Chão: Resultados obtidos no âmbito do Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do*

- Alentejo (ERHSA)*. Tágides. Volume 7. Administração de Região Hidrográfica do Tejo. ARH Tejo, I.P. pp. 146-156.
- Huyakorn, P.S.; Pinder, G.F. (1983). *Computational Methods in Subsurface Flow*. Academic Press, New York, 473 pp.
- Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos (2010). *Região Hidrográfica do Tejo (RH5) e Bacia Hidrográfica do Tejo em Território Espanhol (versão de trabalho)*. Estratégia Nacional de Adaptação aos Impactos das Alterações Climáticas Relacionados com os Recursos Hídricos. Lisboa, Agosto 2010, pp. 85.
- INAG (1997). *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água, Direção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos. Estudo Coordenado pelo Prof. C. A. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa para o Instituto da Água, 236 pp.
- Kinzelbach, W. (1986). *Groundwater Modelling. An Introduction with Sample Programs in Basic*. Developments in Water Science nº25. Elsevier. 333pp.
- Lobo Ferreira, J.P. (1988). *A Comparative Analysis of Mathematical Mass Transport Models and Tracer Experiments for Groundwater Pollution Studies*. Dissertation presented to the Fachbereich 7 Bauingenieur- und Vermessungswesen of the Technische Universität Berlin for the obtainment of the academic degree Doktor-Ingenieur. 195pp.
- Lobo Ferreira, J.P., Vaz Pinto, I., Monteiro, J.P., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Nunes, L., Novo, M.E., Salvador, N., Nunes, J.F., Leal, G., Pombo, S., Silva, M.F., Igreja, A., Henriques, M.J., Silva, D., Oliveira, L., Martins, T., Martins, J., Braceiro, A., Henriques, R.S., Martins, R. (2011). *Plano de gestão da Região Hidrográfica do Tejo - Lote 2: Recursos Hídricos Subterrâneos (Versão de Agosto de 2011)*. Consórcio Hidroprojeto/LNEC/ICCE. Rel. 289/2011 – NAS. Estudo realizado para a Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P., 1056 pp.
- MA (1999). *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo. 1.ª Fase. Análise e Diagnóstico da Situação de Referência. Volume III. Análise. 1. Caracterização Geral da Bacia Hidrográfica*. HP, Gibb, ProceSl, HidroRumo. Outubro de 1999.
- MacDonald, M. G.; Harbaugh, A. W. (1988). *MODFLOW, A Modular Three Dimensional Finite Difference Ground Water Flow Model*. US Geological Survey, Tech. Water-Resources Inv. Bk 6, Washington D. C.
- Marques, J.M., Carreira, P.M., Carvalho, M.R., Matias, M.J.M., Goff, F.E., Basto, M.J.,

- Graça, R.C., Aires-Barros, L., Rocha, L. (2008). *Origins of High pH Mineral Waters from Ultramafic Rocks, Central Portugal*. Applied Geochemistry, Vol. 23, pp. 3278-3289.
- Monteiro, J.P.; Silva, M.L. (1995). *Recursos Hídricos e Parâmetros Hidráulicos das Formações Carbonatadas de Alter-do-Chão-Monforte*. Memória nº 4, Faculdade de Ciências e Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico. IV Congresso Nacional de Geologia (Porto), pp 479-483.
- Monteiro, J. P. (2001). *Characterisation of a Carbonate Aquifer for the application of a Regional Discrete Continuum Flow Model (Castelo de Vide Carbonate Aquifer - Alentejo, Portugal)*, Ph.D. Thesis. Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel. Université de Neuchâtel. pp. 143.
- Oliveira M. M., Novo, M. E., Oliveira, L. e Lobo Ferreira, J.P. (2012) - "Estudo do impacto das alterações climáticas na recarga do sistema aquífero de Torres Vedras". 11.º Congresso da Água, Porto, 15 pp.
- Oliveira, M.M. (2004, 2006). *Recarga de águas subterrâneas: Métodos de avaliação*. Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 440 pp., 2004. Também: Teses e Programas de Investigação - TPI 42, ISBN 972-49-2093-3, Editora LNEC, 2006.
- Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P.C. (2002a). *Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima*. Comunicação apresentada no 6º Congresso da Água: "A água é d'ouro", organizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH), realizado no Centro de Congressos da Alfândega, Porto, 18 a 22 de Março de 2002, 16 pp.
- Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P.C. (2002b). *Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Revista Recursos Hídricos, Vol. 23 n.º 1, Maio 2002 pp. 63-74.
- Oliveira, M.M., Novo, M.E., Moinante, M.J., Lobo Ferreira, J.P.C. (2000). *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Tejo. 1.ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação Actual. Anexo Temático 4 - Recursos Hídricos Subterrâneos. Tomo A - Caracterização Hidrogeológica. Revisão 2*. Estudo realizado para a Hidrotécnica Portuguesa. Consultores para Estudos e Projetos Lda., Proc. 607/1/13022, LNEC-GIAS, Maio de 2000, 379 pp.
- WATERLOO HYDROGEOLOGIC (1998). *Visual MODFLOW*. Software comercial de pré-processamento e pós processamento do programa MODFLOW.

Wang H.F.; Anderson M.P. (1982). *Introduction to Groundwater Modelling. Finite Difference and Finite Element Methods*. Freeman, New-York, 237 pp.

ANEXOS

ANEXO 1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

1. CARATERIZAÇÃO GEOLÓGICA E TECTÓNICA

A massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão situa-se no **Maciço Antigo** ou **Hespérico** (constituído pelas rochas mais antigas, eruptivas e metamórficas, do Precâmbrico e do Paleozoico), estando incluída na zona geotectónica de *Ossa Morena*. A massa de águas subterrâneas é dominada por formações câmbricas e ordovícicas carbonatadas e por um maciço de rochas ígneas básicas que constituem o seu núcleo.

O conjunto de formações do sistema aquífero inclui as formações de cobertura (aluviões e depósitos de vertente) que serão pouco significativas (Gonçalves e Fernandes, 1973; Gonçalves *et al.*, 1975). As formações aquíferas são as formações dos Calcários e dolomitos cristalinos do Câmbrico inferior e os gabros do Complexo Básico de Alter do Chão-Cabeço de Vide (Almeida *et al.*, 2000), sendo constituídas por (INAG, 1997; Almeida *et al.*, 2000):

- Complexo Básico de Alter do Chão-Cabeço de Vide (constitui o setor central do sistema aquífero) – conjunto de rochas básicas e ultrabásicas parcialmente serpentinizadas, dominadas por gabros, gabros olivínicos e anortosíticos, peridotitos, dunitos, piroxenitos.
- Calcários e dolomitos cristalinos do Câmbrico inferior (constitui o setor S e de bordadura) – formação carbonatada, metamorfizada pela intrusão do maciço básico e ultrabásico de Alter do Chão-Cabeço de Vide, constituída por dolomitos, mármore calcítico, calcários dolomíticos e corneanas.

Na envolvência deste sistema encontram-se as formações de Ortognaisses pré-hercínicos e a Formação de Vila-Boim, as quais são constituídas por xistos, quartzitos, grauvaques e conglomerados.

O Quadro 1.1 sintetiza a geologia da massa de águas subterrânea, referindo para as diversas épocas/andares as principais formações geológicas ou litologias presentes. Segue abaixo uma descrição mais pormenorizada.

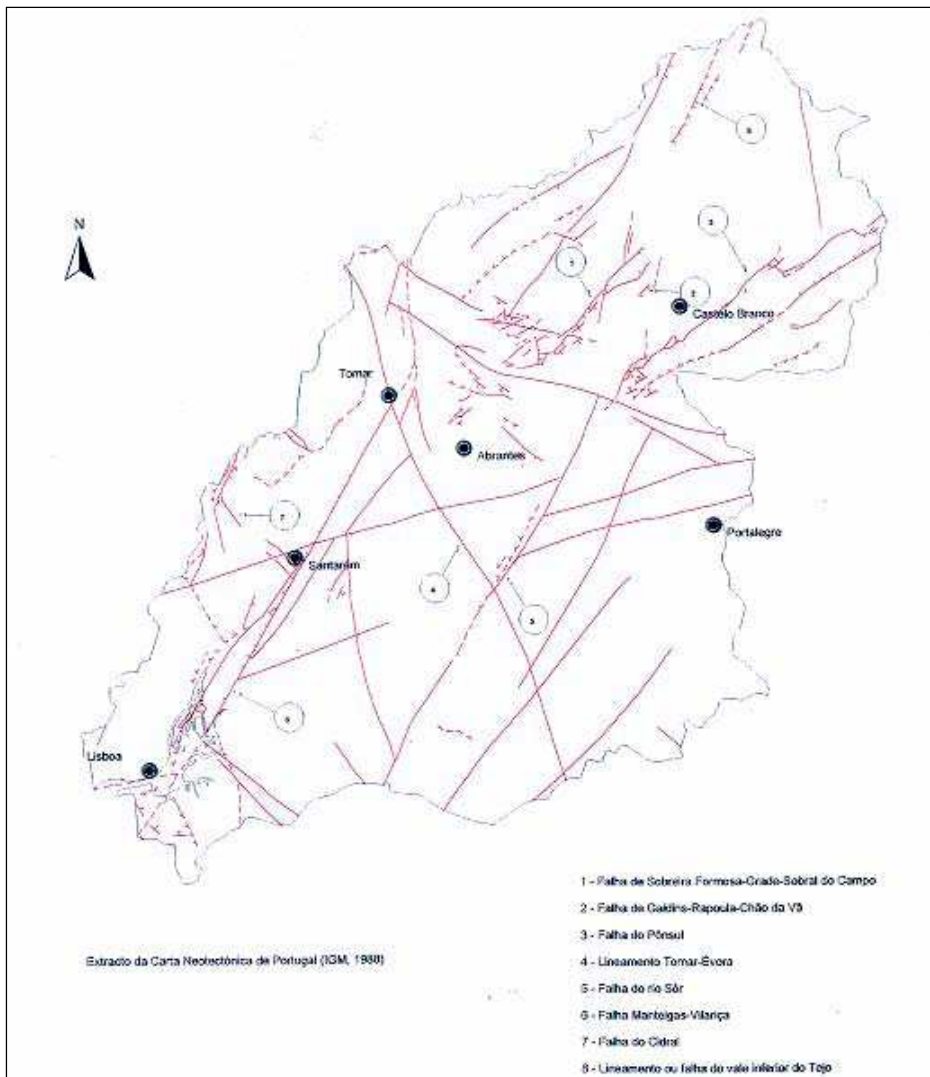
Quadro 1.1 – Estratigrafia e litologia da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Estratigrafia	Litologia
A3 – Monforte-Alter do Chão	Câmbrico e Ordovícico	Calcários e Dolomitos cristalinos: dolomitos, mármore calcítico, calcários dolomíticos, corneanas, com uma espessura conhecida de 113 m; Complexo Básico de Alter do Chão-Cabeço de Vide: gabros, gabros olivínicos e anortosíticos, peridotitos, dunitos, piroxenitos, em que a camada produtiva tem uma espessura de poucas dezenas de metros.

Fonte: Almeida *et al.*, 2000; SNIRH; Oliveira *et al.*, 2000

A estrutura e fracturação das formações é dominada pelos campos de tensões relacionados com a orogenia hercínica. As formações estão assim dobradas em estruturas cujos eixos têm orientações dominantes NW-SE, sendo afetadas por falhas N-S (ex.: falha de Castelo de Vide (Gonçalves e Fernandes, 1973; Gonçalves *et al.*, 1975) e pela rede de fracturação tardi-hercínica NNE-SSW e ENE-WSW. São estas diferentes famílias de fraturas que condicionam preponderantemente os escoamentos superficiais e subterrâneo (Fernandes e Francés, 2010). Há ainda a assinalar um conjunto de diaclases, que ocorrem nas rochas magmáticas (com tendência aleatória ou controladas pela morfologia), calcárias, xistosas, quartzíticas; nas intercalações ortometamórficas realçam-se as diaclases de estratificação, cruzadas e longitudinais, com direção predominante N10-20°E (<http://www.dgge.pt/>).

Em termos de neotetónica a Figura apresenta, de acordo com a Carta Neotetónica de Portugal, na escala 1/1 000 000 (Cabral e Ribeiro, 1988), as estruturas neotetónicas que afetam a massa de águas subterrâneas de Monforte.



Fonte: MA, 1999

Figura 1.1 – Carta neotectónica

2. HIDROGEOLOGIA

2.1 MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A Figura 2.1 indica a localização da massa de águas subterrâneas. O Quadro 2.1 lista a área e as litologias dominantes da massa de água. O Quadro 2.2 sintetiza a informação sobre as formações aquíferas dominantes, tipo de aquífero e respetiva porosidade. Este é um aquífero livre, cársico e fissurado, com um setor em rochas carbonatadas (cársico e fissurado) e outro em rochas ígneas (fissurado).

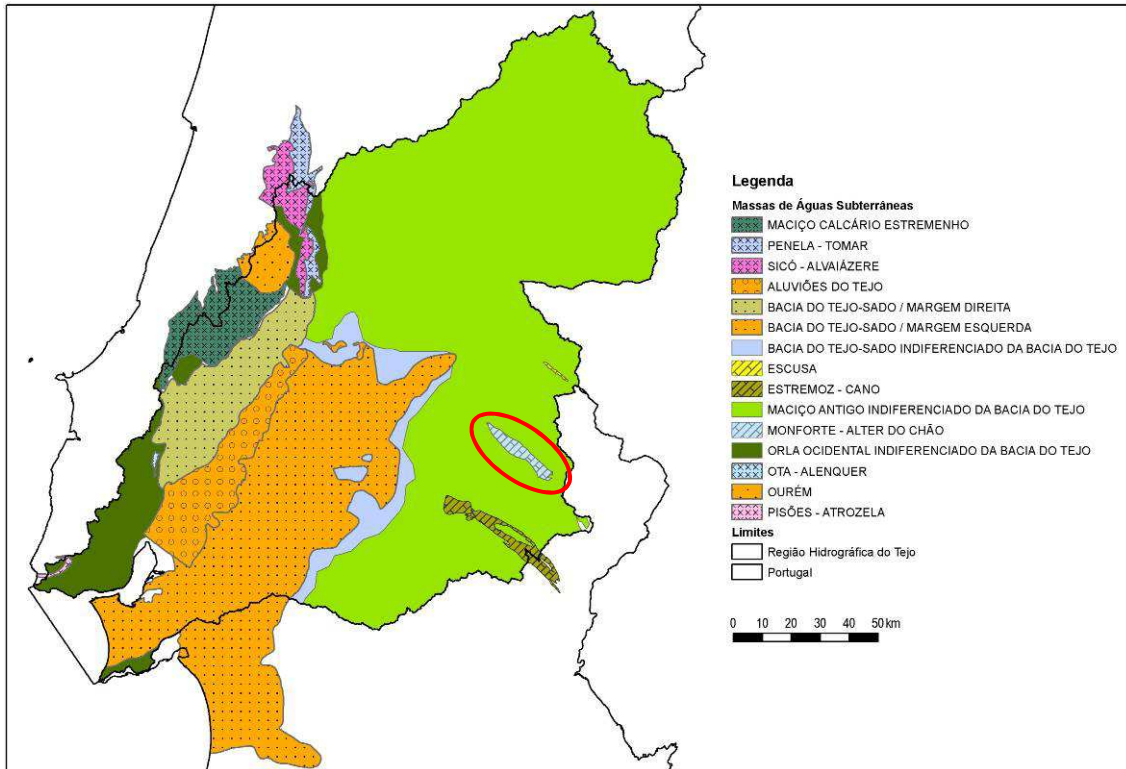


Figura 2.1 – Enquadramento da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

Quadro 2.1 – Identificação da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Litologias dominantes	Área (km ²)
A3 – Monforte-Alter do Chão	Calcários, mármore, dolomitos; gabros e rochas ultrabásicas	97,87

Fonte: SNIRH, Almeida *et al.* (2000)

Quadro 2.2 – Formações aquíferas dominantes e classificação quanto ao tipo de aquífero e meio de escoamento

Massa de águas subterrâneas	Formações aquíferas dominantes	Tipo de aquífero	Tipo de porosidade
A3 – Monforte-Alter do Chão	Calcários e Dolomitos cristalinos (Câmbrico inferior); Complexo Básico de Alter do Chão-Cabeço de Vide	Livre	Cársico, Fissurado

Fonte: Oliveira *et al.*, 2000, Almeida *et al.*, 2000, SNIRH

A síntese da caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas apresenta-se no Quadro 2.3. A síntese da produtividade, caracterizada pelo caudal de exploração das captações de água subterrânea é apresentada no Quadro 2.4.

Quadro 2.3 – Caracterização da transmissividade da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Transmissividade (m ² /d)				N.º de determinações
	Média	Mediana	Mínima	Máxima	
A3 – Monforte-Alter do Chão	-	-	65 ^(b)	540 ^(b)	várias

^(b) estimada com base em ensaio de bombagem

Fonte: Almeida *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2000

Quadro 2.4 – Caracterização da produtividade da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas		Produtividade (l/s)			N.º de determinações	Classe de produtividade
		Mediana	Mínima	Máxima		
A3 – Monforte-Alter do Chão	Calcários	3,3	0,04	16,5	27	Média
	Gabros	-	1,69	16	5	(Média)

Fonte: Almeida *et al.*, 2000; Oliveira *et al.*, 2000

De acordo com a classificação de Almeida *et al.* (2000) as classes de produtividade são definidas pelos intervalos de valores:

- Produtividade alta: mediana ≥ 6 l/s;
- Produtividade média: mediana ≥ 1 l/s e < 6 l/s;
- Produtividade baixa: mediana < 1 l/s.

As principais características hidroquímicas da massa de águas subterrâneas são apresentadas em síntese no Quadro 2.5. A classificação apresentada resulta da projeção das concentrações dos iões HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , dos vários pontos pertencentes a uma mesma massa de águas subterrâneas, num Diagrama de Piper, para as análises disponíveis desde 2000. A qualidade química das águas subterrâneas da massa de água foi analisada com base em informação disponível nos primeiros planos de bacia, completada com o conjunto de informação mais atualizada existente na ARH Tejo para este milénio. Os anos de referência para a avaliação do estado foram: 2004-2008. A caracterização de pormenor do estado químico é apresentada na secção 6.2.

Quadro 2.5 – Síntese da caracterização hidroquímica das massas de água

Massa de águas subterrâneas	Fácies predominante
A3 – Monforte-Alter do Chão	Bicarbonatada cálcica e/ou magnésiana

2.2 ÁREA DE DRENAGEM DAS MASSAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A área de drenagem é a área de afloramento da massa de águas subterrâneas acrescida da área adjacente à massa de águas subterrâneas onde o escoamento direto se faz para dentro dos limites da massa de águas subterrâneas, através ou não de uma rede de drenagem superficial, e onde, devido às características de infiltração dos solos sobrejacentes à massa de águas subterrâneas, esse escoamento direto se poderá infiltrar, recarregando os aquíferos. Na massa de água em análise, as áreas de drenagem não coincidem com as áreas de afloramento das massas de águas. No entanto nesta massa de águas subterrâneas a área de drenagem exterior à sua área é pouco importante, inferior a 2 % da área do aquífero. O Quadro 2.6 representa as

áreas de drenagem das massas de águas subterrâneas. A Figura 2.2 representa a área de drenagem da massa de águas subterrâneas.

Quadro 2.6 – Áreas de drenagem da massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Área de drenagem exterior à massa de águas subterrâneas (km ²)
A3 – Monforte-Alter do Chão	97,87	1,67

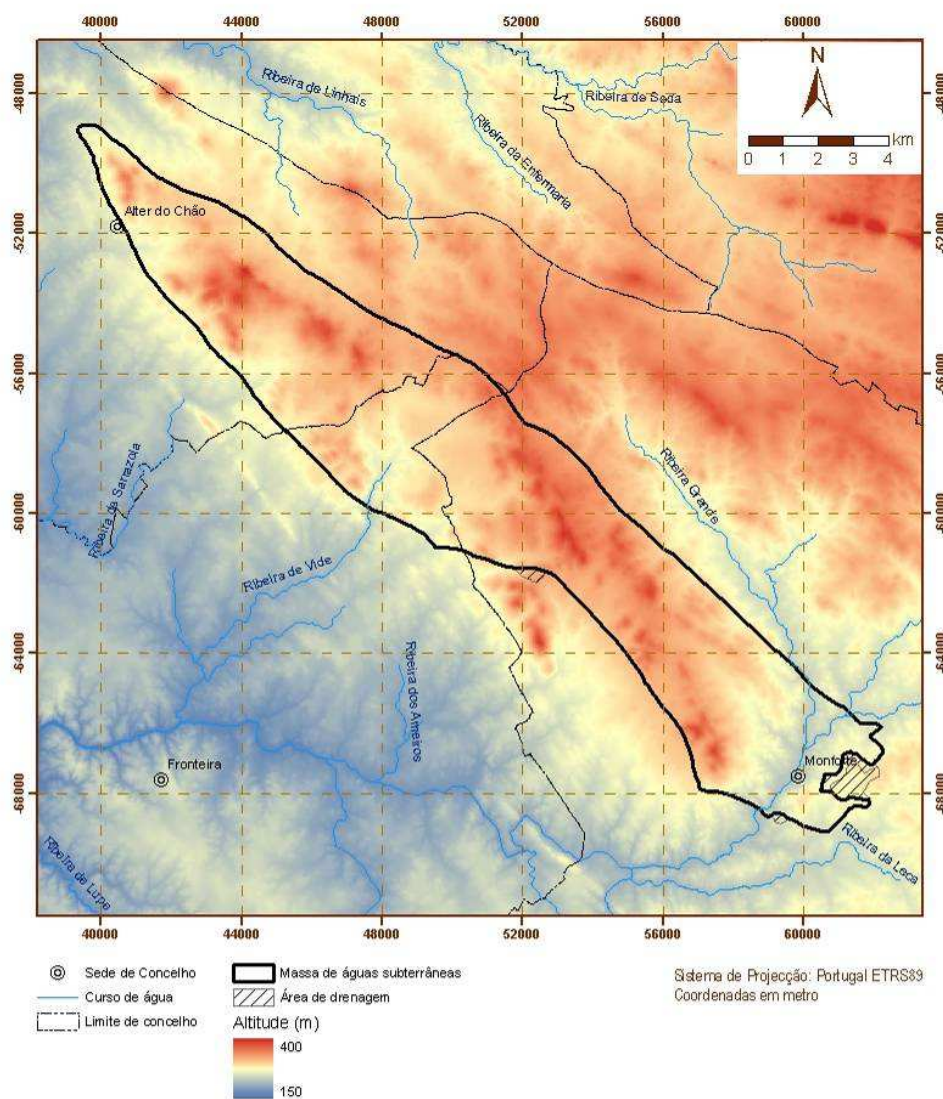


Figura 2.2 – Área de drenagem da massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão

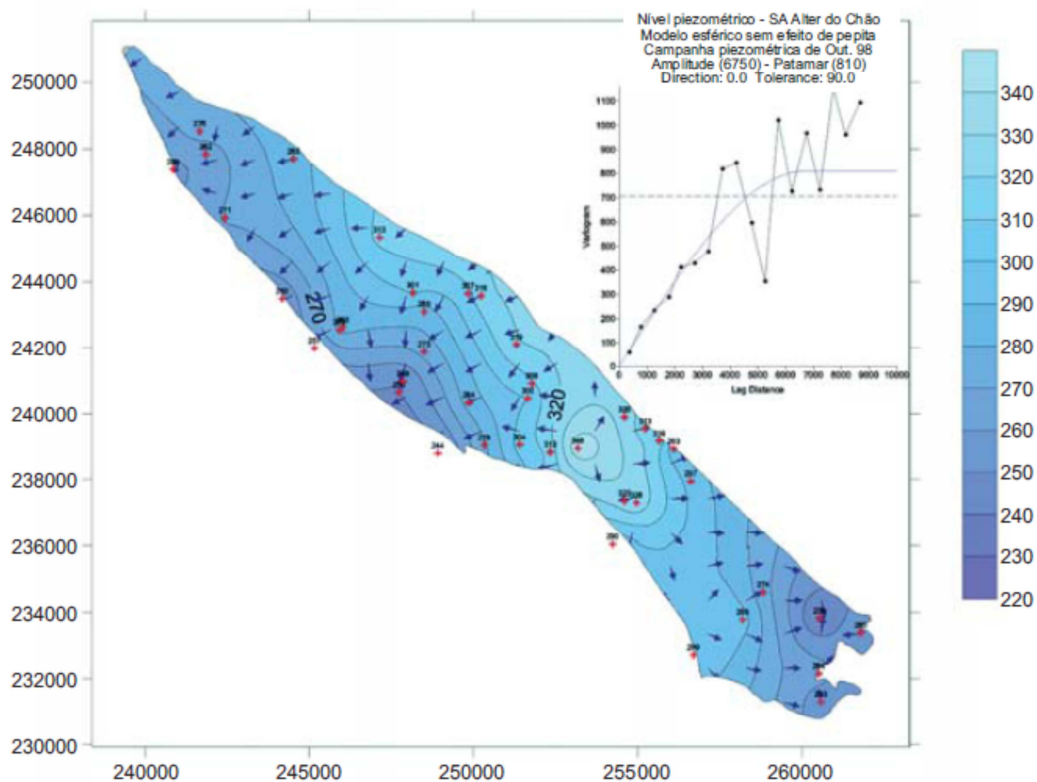
2.3 MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO

Em traços gerais considera-se que a principal entrada de água é a infiltração da água da chuva, que se processa dependendo das condições de ocupação do solo e da própria natureza do solo, em toda a extensão de afloramento. Dependendo das

condições geomorfológicas, pode também ocorrer infiltração da água de escorrência superficial gerada fora da área de afloramento da massa de águas subterrâneas. Contudo não há indícios de que haja cedência de água a partir das formações encaixantes. Outras origens de entrada de água, também localizadas, são a recarga proveniente dos excedentes de rega, e as perdas de águas nas redes de distribuição e de saneamento. Só em situações pontuais é que se prevê que possa haver entrada de água a partir da infiltração de cursos de águas superficiais. Admite-se a existência de várias zonas preferenciais de recarga, podendo uma das mais significativas ocorrer na região a N de Vaiamonte.

Este sistema aquífero, livre, embora possa localmente apresentar características de confinamento (em especial na proximidade do contacto com os xistos; cf. Carvalho e Costa, 1998), constitui-se por duas unidades em conexão hidráulica entre si (Fernandes e Francés, 2010): (1) **setor central** – correspondente ao Maciço Básico e Ultrabásico de Alter do Chão-Cabeço de Vide, (2) **setor periférico** – corresponde às unidades carbonatadas câmbrias. Localmente podem existir setores que não parecem possuir ligação com o sistema regional; no setor carbonatado, por exemplo, podem existir pequenos aquíferos suspensos, em ligação mais ou menos diminuta com o aquífero cársico principal, como é o caso de Herdade da Palma, sita nas proximidades do limite do aquífero, numa área em que não se verifica continuidade de afloramento com o sistema aquífero a nível regional (Carvalho e Costa, 1998). O funcionamento é algo distinto entre os 2 setores: (1) fraturado no Setor central, e (2) cársico-fissurado no Setor periférico.

O fluxo dá-se, à escala regional, para SW, exceto no extremo sul do sistema, em que se dirige para SE, e no extremo norte, em que a direção toma um rumo S-SE (Almeida *et al.*, 2000; Fernandes, 2001). A direção regional de escoamento para SW está conforme ao padrão observado de distribuição espacial das nascentes e é também concordante com a generalidade dos sentidos de escorrência das linhas de água (Figura 2.3).



Fonte: Fernandes e Francés (2002; 2010)

Figura 2.3 – Superfície piezométrica e direcções de fluxo no sistema aquífero

Este escoamento subterrâneo, assim como o superficial, é condicionado pelo sistema de fraturas de orientação NNE-SSW e ENE-WSW (Fernandes e Francés, 2002). Apesar de haver no geral conexão hidráulica entre as formações carbonatadas e as unidades envolventes, localmente tal pode não ocorrer, originando fluxos locais que podem ou não divergir do sentido de fluxo regional. Por exemplo, no flanco NE do sistema aquífero, na região da captação de Vale Doce, Fernandes (2001) e Fernandes e Francés (2010) consideram que não existe cedência de água dos calcários e conglomerados para ortognaisses graníticos e sienitos hiperalcalinos; deste modo a eventual recarga nos cabeços da Herdadinha do Nabo e de Santo Cristo, gerará um fluxo para SW.

Em termos de evolução da piezometria, e embora os dados sejam escassos, como adiante se verificará, está registada uma oscilação muito reduzida dos níveis entre Junho de 1998 e Novembro de 1999 (Fernandes, 2001), homogeneidade que Almeida *et al.* (2000) referem. Estes autores citam oscilações entre 1 a 3 m, à exceção de 3 pontos, onde se registaram as maiores oscilações (23, 28 e 33 m). Nos pólos de extração, o efeito da bombagem contínua induz uma regularidade nos níveis e anula qualquer efeito de recarga sobre a oscilação temporal destes (Fernandes, 2001).

O escoamento faz-se maioritariamente segundo os tipos principais de porosidade identificados no Quadro . As principais saídas da massa de águas subterrâneas são em direção aos cursos de águas superficiais que as drenam; fazem-se por nascentes temporárias e perenes, ocupando essencialmente as zonas de contacto entre: (1) as litologias básicas e os calcários e (2) os calcários e os xistos. As nascentes perenes situam-se no geral no bordo SW do sistema aquífero, no contacto entre a formação carbonatada e os xistos (Almeida *et al.*, 2000; Fernandes e Francés, 2010). A saída de água também pode ocorrer por evapotranspiração nos locais onde os níveis freáticos venham a encontrar-se muito próximos da superfície.

Esta massa de águas subterrâneas apresenta dois grupos de águas (Marques *et al.*, 2008): (1) águas associadas às rochas carbonatadas – águas modernas, com quimismo determinado pela interação com os carbonatos e circulação pouco profunda e que constituem a fácies predominante; (2) águas associadas às unidades gabróicas e ultramáficas e sem características termiais – são águas de circulação sub-superficial, cujo quimismo é determinado pelas interações com estas rochas, tendo fácies bicarbonatada calco-magnesianas se associadas a circulação em gabros ou fácies bicarbonatado-magnesianas se associadas a serpentinitos.

Além destas águas registam-se nascentes termiais, as quais estão associadas a condições particulares de funcionamento de alguns setores do aquífero. De acordo com Marques *et al.* (2008) a principal zona de recarga para a nascente das águas de Cabeço de Vide ocorre nas regiões de baixa altitude dos afloramentos das rochas máficas e ultramáficas da zona central do sistema aquífero. Segundo os mesmos autores estas águas, que se localizam no contacto entre as rochas carbonatadas e o núcleo de rochas máficas e ultramáficas do sistema aquífero, estão associadas com a falha NNE-SSW de representatividade regional que atravessa este sistema aquífero entre N de Santo Cristo e S de Monte das Fontainhas. Se se admitir que em profundidade os ortogneisses sieníticos estão bem representados e fraturados, podem então constituir o ambiente para a obtenção das características hidroquímicas com que as águas brotam das nascentes minerais (<http://www.dgge.pt/>). Refira-se que estas águas têm tempos de residência longos ($3,6 \pm 2,3$ ka a $6,0 \pm 2,2$ ka, de acordo com as datações por ^{14}C) e longos percursos de circulação, sendo uma parte deste percurso em profundidade antes de ascender à superfície através de zonas fraturadas.

3. AVALIAÇÃO DAS DISPONIBILIDADES

3.1 INTRODUÇÃO

A metodologia de análise das séries de níveis piezométricos e de avaliação da recarga foi apresentada no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011), tendo a recarga sido calculada usando o BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004, 2006). A classificação do estado quantitativo das massas de águas subterrâneas exigiu ainda a aplicação dos testes relativos aos ecossistemas dependentes ou associados às águas subterrâneas.

3.2 EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS

A Figura 3.1. indica, a partir da análise de regressão linear dos valores de piezometria observados, a tendência de evolução dos valores máximos anuais em cada piezómetro, tendo-se considerado com valor crítico a tendência de descida de 100 mm/ano. A Figura 3.2 apresenta as tendências de evolução piezométrica usando a totalidade das séries. A escassez de dados não permite qualquer conclusão acerca de tendências dos níveis piezométricos.

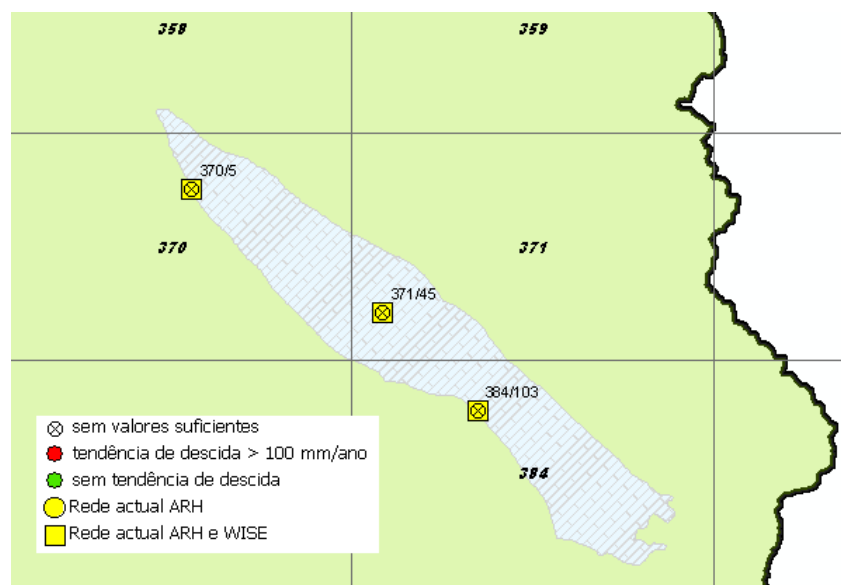


Figura 3.1 – Distribuição dos pontos da rede de monitorização na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

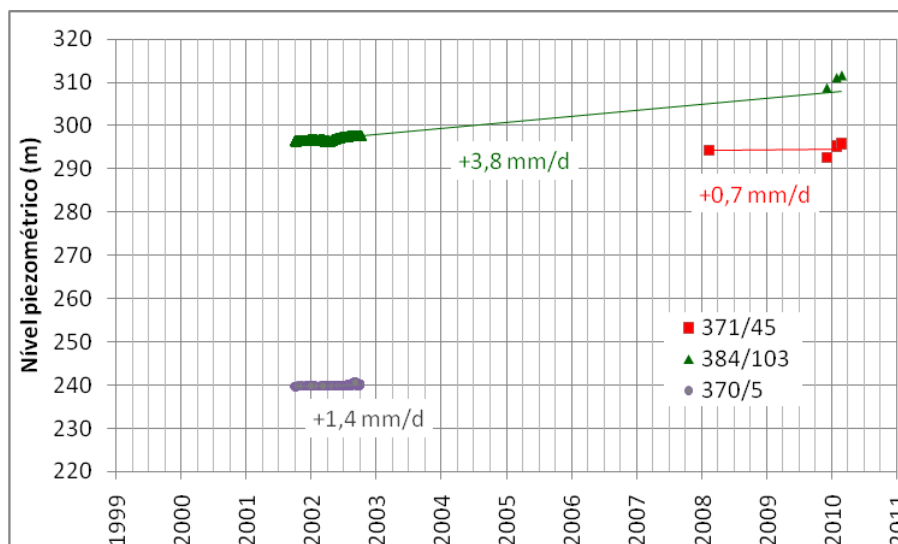


Figura 3.2 – Níveis piezométricos por piezômetro e tendências obtidas utilizando a totalidade das séries na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.

3.3 EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA RECARGA

A recarga foi avaliada para o período de 1-10-1979 a 30-9-2009. A Figura 3.3 apresenta a distribuição da recarga anual média e o Quadro 3.1, os valores médios anuais para a totalidade da massa de águas subterrâneas. Os valores médios obtidos pelo balanço hídrico subterrâneo para cada associação de solo / ocupação do solo / setor / existência de carso apresentam-se no Quadro 2.A do Anexo 2.

Quadro 3.1 – Resultados anuais médios do balanço hídrico sequencial diário (Monforte-Alter do Chão)

Área (m ²)	Precipitação (mm/ano)	Evapotranspiração real (mm/ano)	Escoamento direto (mm/ano)	Recarga		
				(mm/ano)	(hm ³ /ano)	% Prec
97879933	640	287	176	169	16,53	26 %

Aos valores de recarga natural por infiltração da água da chuva na área da massa de águas subterrâneas acrescem os valores provenientes do escoamento direto produzido na área de drenagem desta massa de águas e que se infiltram quando atingem os limites desta. Estes valores foram estimados utilizando o mesmo balanço hídrico sequencial diário aplicado à massa de águas subterrâneas envolvente, A0x1RH5 – Maciço Antigo indiferenciado da Bacia do Tejo, que estimou o volume de escoamento direto na área de drenagem em 0,43 hm³/ano; este, dividido pela área da massa de águas corresponde a uma altura de água média de 4 mm/ano. Assim, estima-se a recarga total da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão em 173 mm/ano, ou 16,96 hm³/ano (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Recarga da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

Recarga direta		Recarga da área de drenagem		Recarga total	
(mm/ano)	(hm ³ /ano)	(mm/ano)	(hm ³ /ano)	(mm/ano)	(hm ³ /ano)
169	16,53	4	0,43	173	16,96

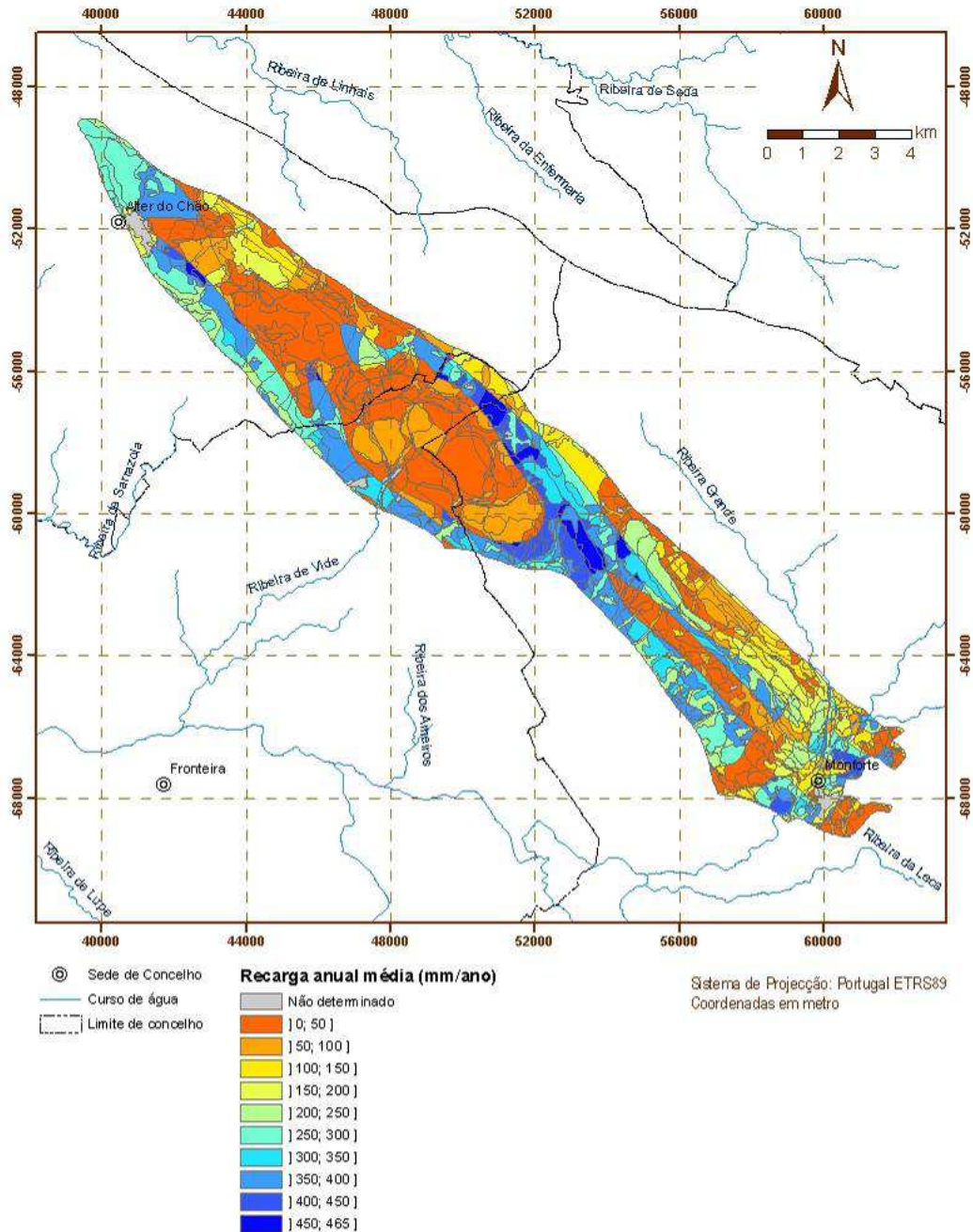


Figura 3.3 - Recarga da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

3.4 MASSAS DE ÁGUA ASSOCIADAS A ECOSISTEMAS AQUÁTICOS DE SUPERFÍCIE OU ECOSISTEMAS TERRESTRES QUE DELAS DEPENDEM DIRETAMENTE

As linhas de água com conexão hidráulica com o sistema aquífero (do qual recebem caudal de base) apresentam orientação NE-SW, com o sentido de escoamento SW, sendo os seguintes, de Norte para Sul, os cursos de água, assim como os ecossistemas ripícolas associados a estes cursos de água, que constituem EDAS (Figura 3.4; Quadro 3.3):

- Ribeira de Alter,
- Ribeira de Vide,
- Ribeira Grande e cursos de água associados.

A ribeira Grande tem caudal ao longo de todo o ano. As restantes ribeiras têm um regime temporário, intermitente, estando os caudais dependentes de episódios chuvosos nas respetivas bacias. No entanto a avaliação da escorrência das linhas de água no sistema mostra que aquelas que mantêm algum escoamento se encontram na dependência de nascentes, o que lhes confere o carácter de EDAS.

Quadro 3.3 – Cursos de água associados à massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão

EU_CD	NAME	SEG_CD	RIVER_NAME
PT05TEJ1010	ribeira de Vide	PTRIVSEG2769	ribeira de Vide
PT05TEJ1012	ribeira Grande	PTRIVSEG2779	ribeira Grande
		PTRIVSEG2780	ribeira do Freixo
PT05TEJ1018	ribeira Grande	PTRIVSEG2797	ribeira Grande

Os rios nesta massa de águas subterrâneas variam entre situações de alta dependência e de dependência parcial das águas subterrâneas (no caso em que são permanentes; ex.: ribeira Grande), estando o escoamento neste tipo de cursos de água, durante os períodos de estiagem, inteiramente relacionado com a transferência de água oriunda dos aquíferos. A ribeira de Alter, cujas linhas de cabeceira são geradas no interior do sistema aquífero, na área de Alter do Chão, (extremo Norte do sistema), tem o seu caudal associado a nascentes do sistema aquífero pelo que a sua presença é importante em termos de definição das condições de fronteira que condicionam o funcionamento hidráulico do mesmo.

Não existem identificados charcos temporários como EDAS na área da massa de águas subterrâneas.

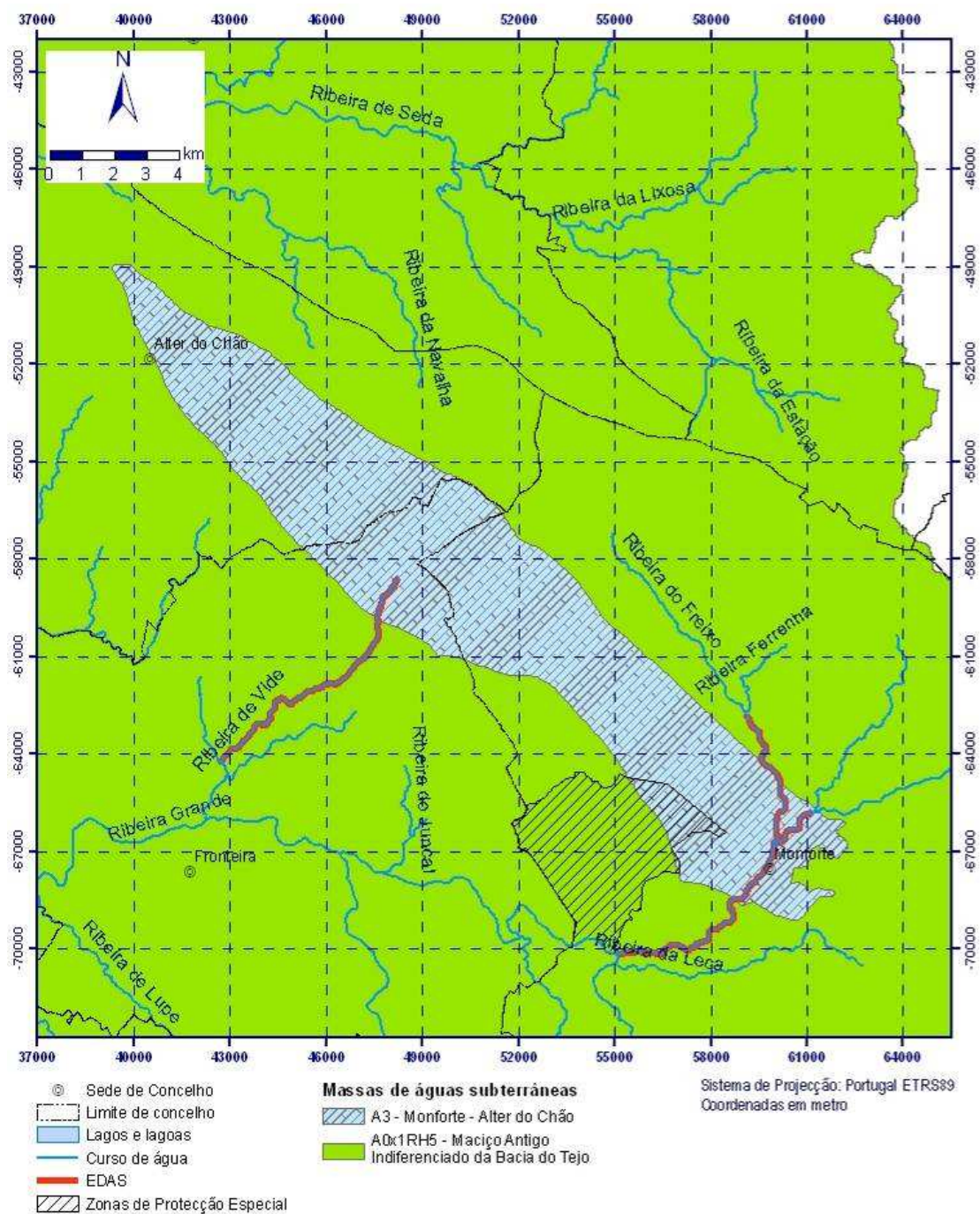


Figura 3.4 – Ecossistemas dependentes de águas subterrâneas (EDAS) na massa de águas subterrâneas Monforte-Alter do Chão

3.5 IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS POTENCIAIS DE RECARGA DE AQUIFÉROS

A metodologia de identificação destas zonas foi apresentada no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 3.5 apresenta o mapa com o Índice de Facilidade de Infiltração. A análise desta figura deve ter em linha de conta a massa de água subterrânea subjacente e a sua zona de descarga, ou seja, deve ter em atenção o modelo conceptual de escoamento das massas de água.

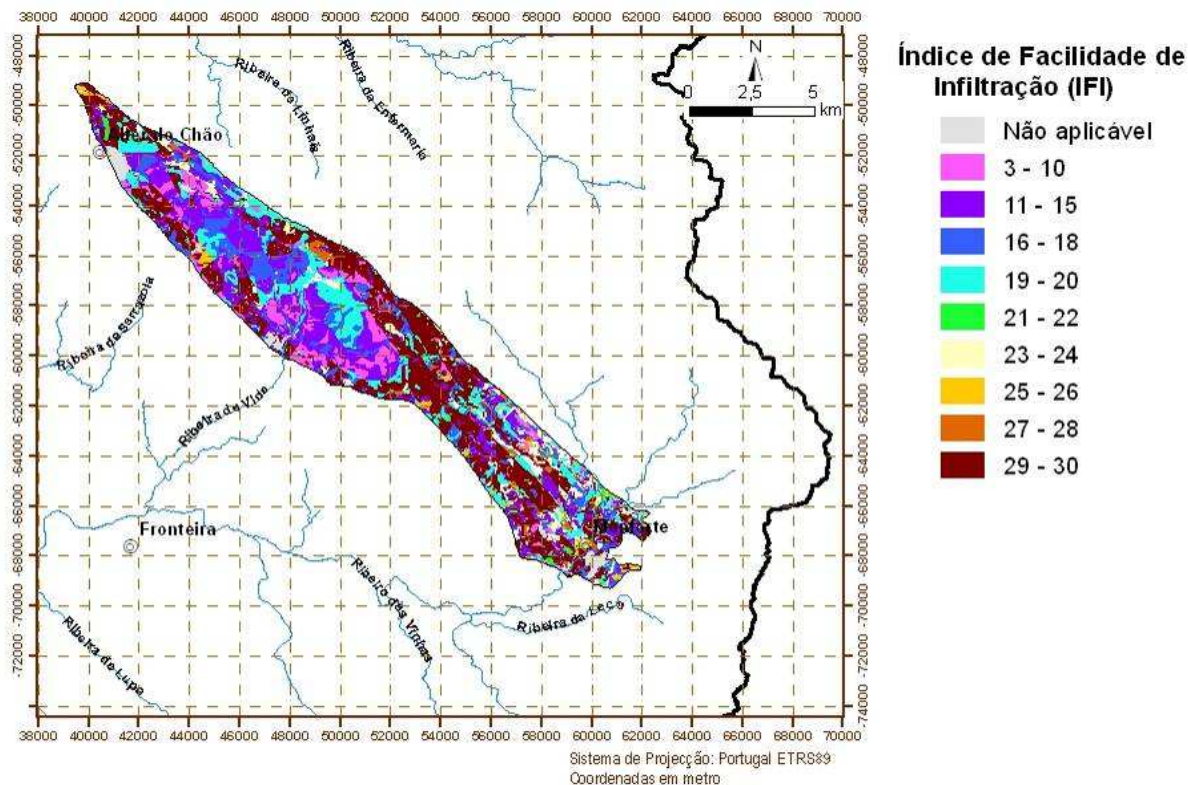


Figura 3.5 – Índice de Facilidade de Infiltração da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

3.6 MASSAS DE ÁGUA EM RISCO

Considera-se em risco a massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão por (1) se encontrar em estado medíocre; (2) com tendência estatisticamente significativa de subida de algum parâmetro cujo valor ultrapassou os 75% do valor limite regulamentar.

4. USOS, NECESSIDADES E PRESSÕES SOBRE A MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

4.1 USOS E NECESSIDADES DE ÁGUA

4.1.1 Necessidades de água por tipologia de uso (usos consumptivos e não consumptivos)

A metodologia para a avaliação dos usos e necessidades de água apresentou-se no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). As tipologias de uso consideradas compreendem:

- Abastecimento público;

- Agricultura;
- Pecuária;
- Indústria.

4.1.1.1 A. Abastecimento público – Sistemas de abastecimento

No Quadro 4.1 apresentam-se os valores de capitação “útil” por concelho (inserido total ou parcialmente na área da massa de águas subterrâneas), os valores das capitações totais e “úteis” respeitantes a 1997 e os parâmetros estatísticos: máximo, mínimo e média.

Quadro 4.1 – Evolução das capitações por concelho

Concelho	Capitações estimadas no anterior plano ¹		Capitações atuais ²	
	Cap. Útil (l/hab.dia)	Cap. Total (l/hab.dia)	Cap. Útil (l/hab.dia)	Cap. Total (l/hab.dia)
Alter do Chão	161	237	124	126
Fronteira	123(b)	166(b)	124	299
Monforte	134	179	170	178
Máximo	161	237	170	299
Mínimo	123	166	124	126
Média	139	194	139	201

¹ Sempre que possível apresentou-se a capitação respeitante a 1997

² Calculada com base nos dados INSAAR 2010.

(b) Valor referente a 1994.

Relativamente aos valores médios obtidos no âmbito do PGRH Tejo, verificam-se uma constância de valores na capitação “útil”, enquanto a capitação total aumentou cerca de 3,6%. Os valores de necessidades de água abastecidas por fontes subterrâneas são apresentados no Quadro e Figura 4.1.

Quadro 4.2 – Abastecimento público. Necessidades de água satisfeitas por origens subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Volume captado (hm ³ /ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	0,190

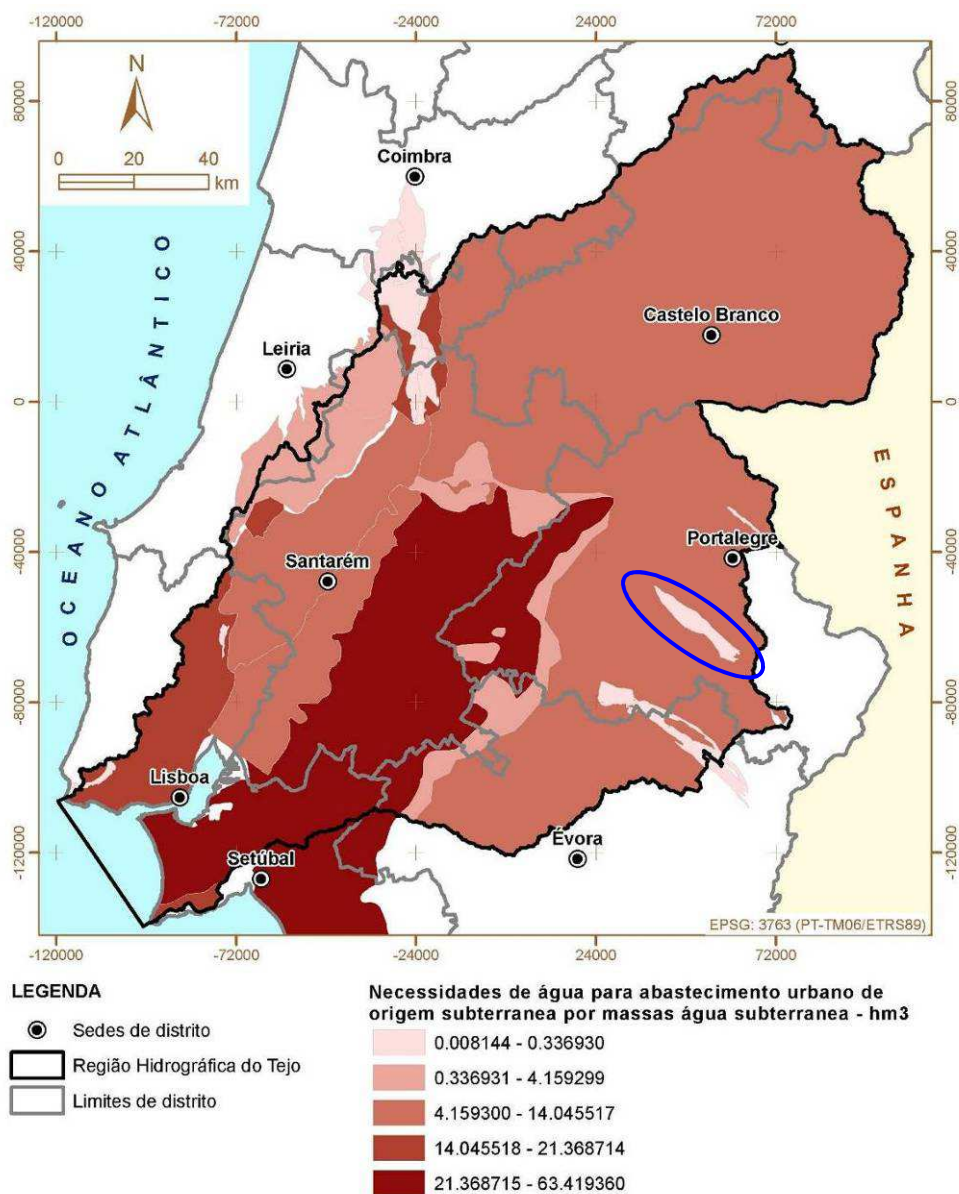


Figura 4.1 – Abastecimento urbano. Necessidades de água satisfeitas por origens subterrâneas, por massa de águas subterrâneas

4.1.1.2 B. Agricultura

As necessidades de água para a agricultura foram consideradas como as que correspondem aos volumes de água utilizados na rega. A metodologia de cálculo destas necessidades foi apresentada no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). No Quadro . apresentam-se os volumes fornecidos pelas massas de águas subterrâneas em ano médio e seco. A Figura 4.2 apresenta as necessidades de água para rega em ano médio associadas às massas de águas subterrâneas.

Quadro 4.3 – Necessidades hídricas totais anuais satisfeitas por origens subterrâneas (hm³)

Massa de águas subterrâneas	Ano Médio (50%)	Ano Seco (80%)
A3 – Monforte-Alter do Chão	2,388	2,594

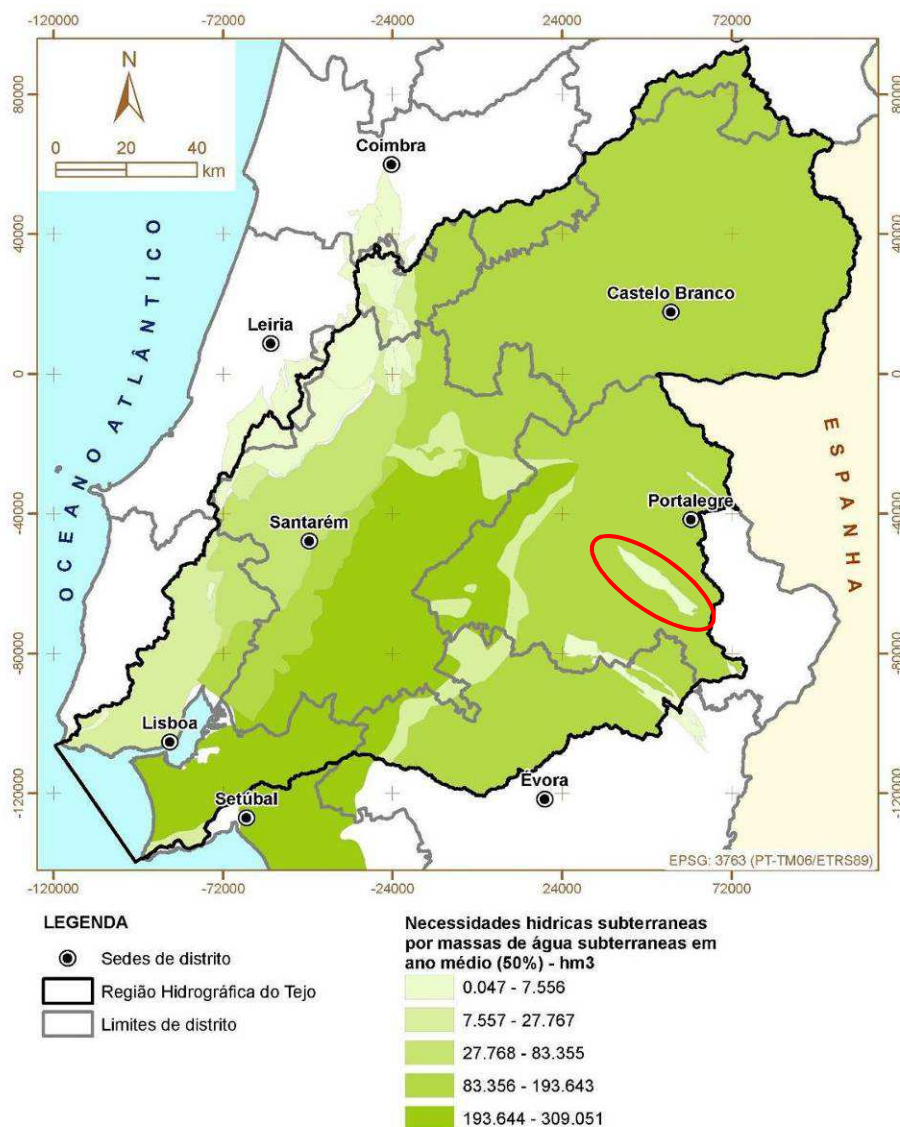


Figura 4.2 – Necessidades hídricas totais satisfeitas por origens subterrâneas. Consumos de rega por massa de águas subterrâneas (hm³/ano)

4.1.1.3 C. Pecuária

As necessidades de água para a pecuária foram calculadas com base nos efetivos animais e consumos unitários de cada espécie. No Quadro os valores das necessidades de água para a pecuária por concelho. As necessidades de água para o setor pecuário são de 0,55 hm³ por ano para a massa de água subterrânea. As necessidades de água para a pecuária, satisfeitas por origens subterrâneas, são apresentadas no Quadro . A Figura 4.3 ilustra estes resultados.

Quadro 4.4 – Necessidades de água para a pecuária por concelho, espécie e sistema de produção (hm³/ano)

Concelhos	Bovinos		Suínos		Ovinos		Caprinos		Total	
	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo
Alter do Chão	0,0005	0,1645	0,0000	0,0000	0,0019	0,0270	0,0002	0,0000	0,0026	0,1916
Fronteira	0,0009	0,0431	0,0005	0,0000	0,0013	0,0372	0,0021	0,0018	0,0047	0,0820

Concelhos	Bovinos		Suínos		Ovinos		Caprinos		Total	
	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo	Extensivo	Intensivo
Monforte	0,0000	0,2310	0,0004	0,0000	0,0008	0,0337	0,0001	0,0011	0,0013	0,2658
Subtotal	0,0014	0,4386	0,0009	0,0000	0,004	0,0979	0,0024	0,0029	0,0086	0,5394
Total/espécie animal	0,4400		0,0009		0,1019		0,0053			
Total na massa de água	0,5481									

Quadro 4.5 – Necessidades de água para o setor da Pecuária satisfeitas por origens subterrâneas

Massas de águas subterrâneas	Volume (hm ³ /ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	0,029

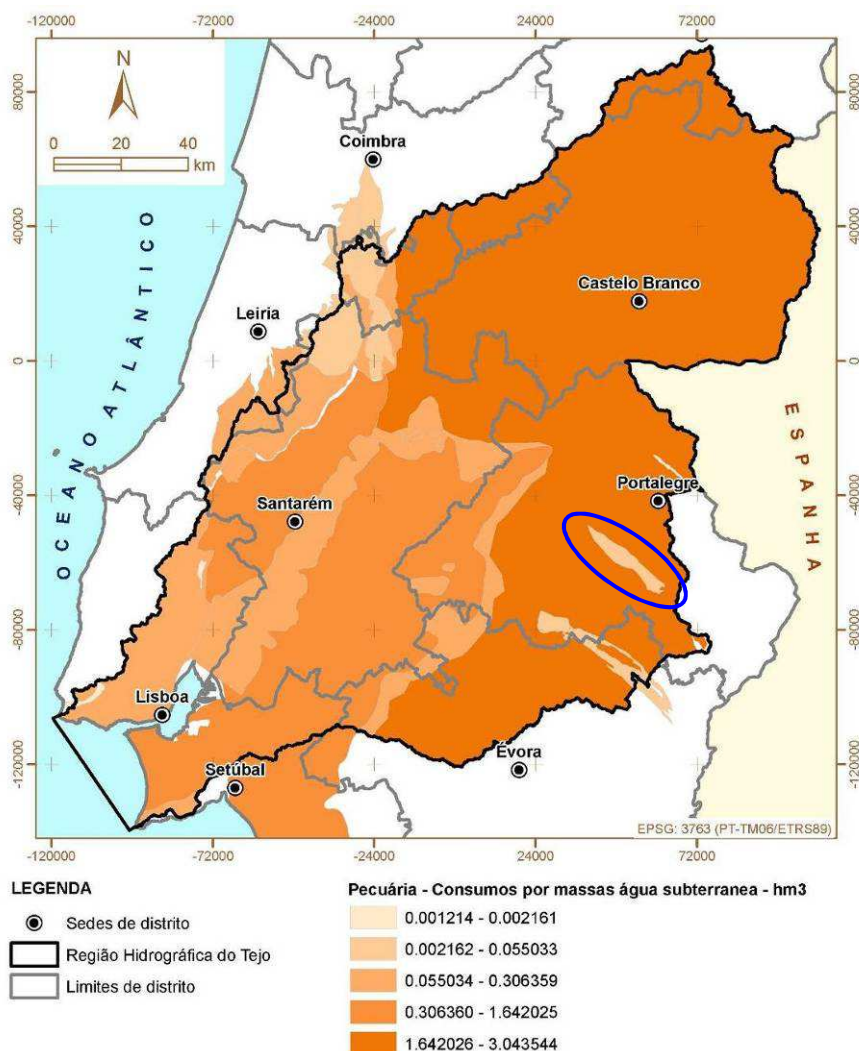


Figura 4.3 – Necessidades de água para a pecuária satisfeitas por origens subterrâneas. Consumos por massa de águas subterrâneas (hm³/ano)

4.1.1.4 D. Indústria

As necessidades de água por concelho são apresentadas no Quadro . As necessidades de água para a indústria agora estimadas ascendem a 110 912 hm³/ano. Os volumes fornecidos por massa de águas subterrâneas apresentam-se no Quadro .

Quadro 4.6 – Distribuição das necessidades anuais de água dos estabelecimentos industriais pelos concelhos

Concelho	Necessidades (m ³ /ano)
Alter do Chão	8 814
Fronteira	79 976
Monforte	22 122
TOTAL	110 912

Quadro 4.7 – Necessidades de água para a Indústria satisfeitas por origens subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	Volume (hm ³ /ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	0,004

4.1.2 Avaliação do balanço entre necessidades, disponibilidades e potencialidades

A estimativa das necessidades em ano médio satisfeitas por origens de água subterrâneas para os setores do Abastecimento urbano, Indústria, Rega e Pecuária é apresentada no Quadro . A recarga e o balanço hídrico da massa de água é apresentada Quadro .

Quadro 4.8 – Necessidades de água em ano médio para os diferentes setores (hm³/ano)

Massa de águas subterrâneas	Abastecimento	Indústria	Pecuária	Agricultura	Turismo
A3 – Monforte-Alter do Chão	0,190	0,004	0,029	2,594	0,000

Quadro 4.9 – Balanço hídrico dos recursos subterrâneos para o ano médio, por massas de águas subterrâneas

Massas de águas subterrâneas	Recarga BALSEQ (hm ³ /ano)	Recarga ARH-Tejo (hm ³ /ano)	Recarga de rega (hm ³ /ano)	Necessidades por captações subterrâneas (hm ³ /ano) ⁽⁵⁾	Taxa de exploração (%) ⁽⁶⁾
A3 – Monforte-Alter do Chão	16,96 ⁽²⁾	-	1,307	2,610	15,4

(2) O volume de recarga apresentado inclui 4 mm/ano ou 0,43 hm³/ano de recarga de água proveniente do escoamento direto das áreas de drenagem da massa de águas subterrâneas.

(5) Estes valores são as necessidades totais satisfeitas pelas águas subterrâneas não tendo sido subtraídos os valores que são devolvidos ao meio hídrico subterrâneo pela infiltração das perdas da água de rega.

(6) Para a taxa de exploração foram utilizados os valores mais restritivos de recarga.

4.2 ABASTECIMENTO E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

4.2.1 Caraterização dos principais sistemas

O n.º de captações de água para abastecimento público é apresentado no Quadro .

Quadro 4.10 – Número de captações presentes na massa de águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	N.º captações
A3 – Monforte-Alter do Chão	16

Fonte: Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais, INSAAR 2010 (Dados relativos a 2008)

4.3 CARATERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VULNERABILIDADES

4.3.1 Riscos de poluição accidental

A poluição accidental é um tipo de poluição que, como o próprio nome indica, resulta de episódios imprevisíveis. Como qualquer outro tipo de poluição da água, também esta pode provocar problemas nos ecossistemas aquáticos e nas massas de água localizados a jusante do acidente.

Assim, muitos dos potenciais riscos de poluição accidental estão associados às próprias pressões identificadas, muito em especial às associadas a indústrias com sistemas de retenção de efluentes líquidos ou sólidos passíveis de sofrerem ruturas accidentais. Outro tipo de poluição accidental pode estar relacionado com a ocorrência de fenómenos accidentais abrangentes que podem ter consequências ao nível da qualidade dos recursos, como por exemplo o caso dos fogos florestais e as suas implicações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos de jusante.

As áreas sujeitas a poluição accidental foram classificadas em cinco graus de risco, sendo este risco definido pela conjugação de proximidade de duas situações: (i) atividades/ocupações do solo potencialmente indutoras de picos de poluição, na sequência de hipotéticos acidentes de origem natural ou artificial; (ii) locais especialmente sensíveis a tais picos de poluição, a saber, captações de água para consumo humano e áreas sensíveis. A metodologia da cartografia dos graus de risco de poluição accidental foi apresentada no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 4.4 apresenta a proposta para a classificação do território, de acordo com o grau de risco de poluição accidental.

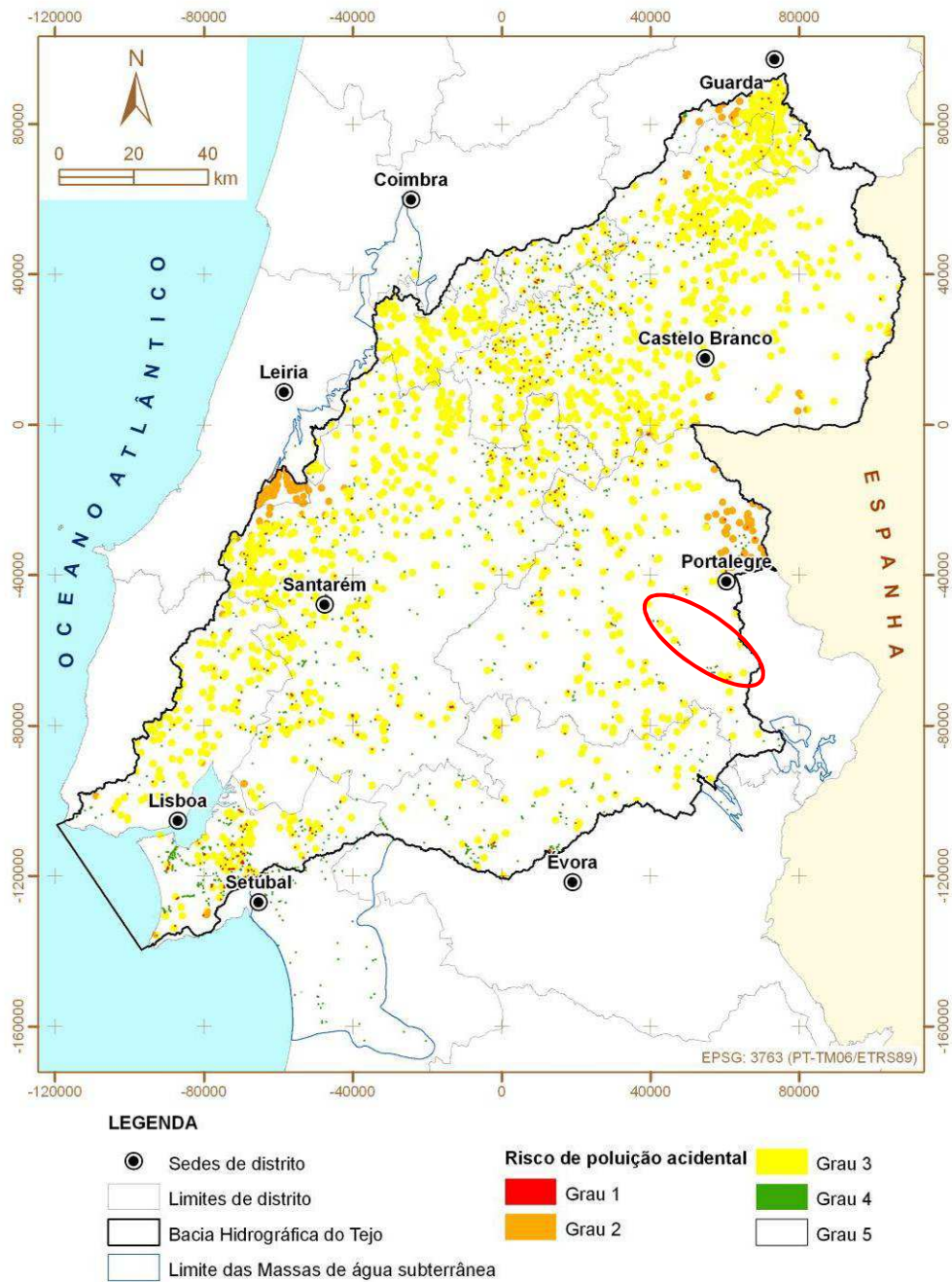


Figura 4.4 – Mapa da classificação do território do plano, de acordo com o grau de risco de poluição accidental

Além da avaliação do risco de poluição accidental ligado a infraestruturas fixas, o risco de poluição accidental durante o transporte de substâncias potencialmente perigosas foi avaliado para a componente componente de águas subterrâneas. As estradas são os locais onde existe maior risco de ocorrência de acidentes de poluição durante o transporte, tendo este risco de poluição accidental sido avaliado segundo a metodologia de Leitão *et al.* (2005). Nesta metodologia definem-se como zonas hídricas sensíveis aos poluentes rodoviários, áreas a proteger e para onde não se devem fazer

descargas diretas de águas de escorrência de estradas (e, portanto, também muito sensíveis a derrames acidentais de quaisquer substâncias estranhas à atividade rodoviária), devendo aí implementar-se sistemas de tratamento adequados, promovendo a diminuição da poluição proveniente das estradas para níveis aceitáveis, antes da descarga.

São zonas em risco os meios cársicos, as **áreas de infiltração máxima** e as zonas com o **nível piezométrico temporariamente muito próximo da superfície**. Devem ainda considerar-se para a definição de zonas em risco, os condicionamentos legais relativos à proteção dos usos de águas subterrâneas. As **zonas de proteção intermédia** de recursos hidrominerais (águas minerais naturais ou águas minero-industriais) são zonas sensíveis. A avaliação do risco de poluição acidental das áreas de infiltração máxima fez-se com base no índice IFI, desenvolvido por Oliveira e Lobo Ferreira (2002a e b) cuja metodologia de aplicação bacia hidrográfica das Ribeiras do Oeste foi descrita no relatório LNEC 290/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A Figura 4.5 apresenta o mapeamento IFI, a que se sobrepôs a rede de estradas, zonas de proteção de captações e nascentes hidrominerais.

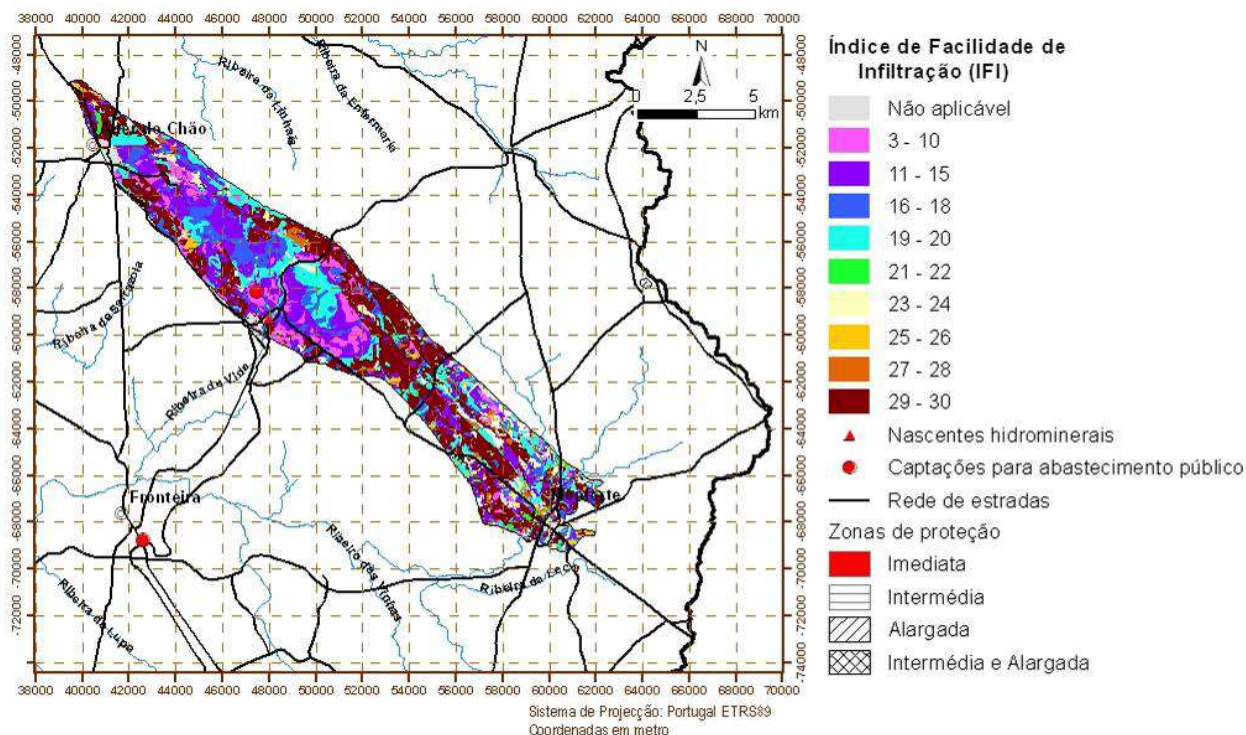


Figura 4.5 – Mapa IFI do risco de poluição acidental associado a estradas

A Figura 4.6, que apresenta o eixo das estradas e uma zona adjacente de 1 km, classifica o risco de poluição acidental proveniente de estradas, para as águas subterrâneas. Podem ser classificadas como “zonas em risco” as zonas de classes

Alto e Muito Alto. As classes de risco consideradas (resultantes da divisão da escala do índice I_{FI}) são as seguintes:

- 3 a 15 – Baixo
- 16 a 20 – Medio
- 21 a 25 – Alto
- 26 a 30 – Muito Alto

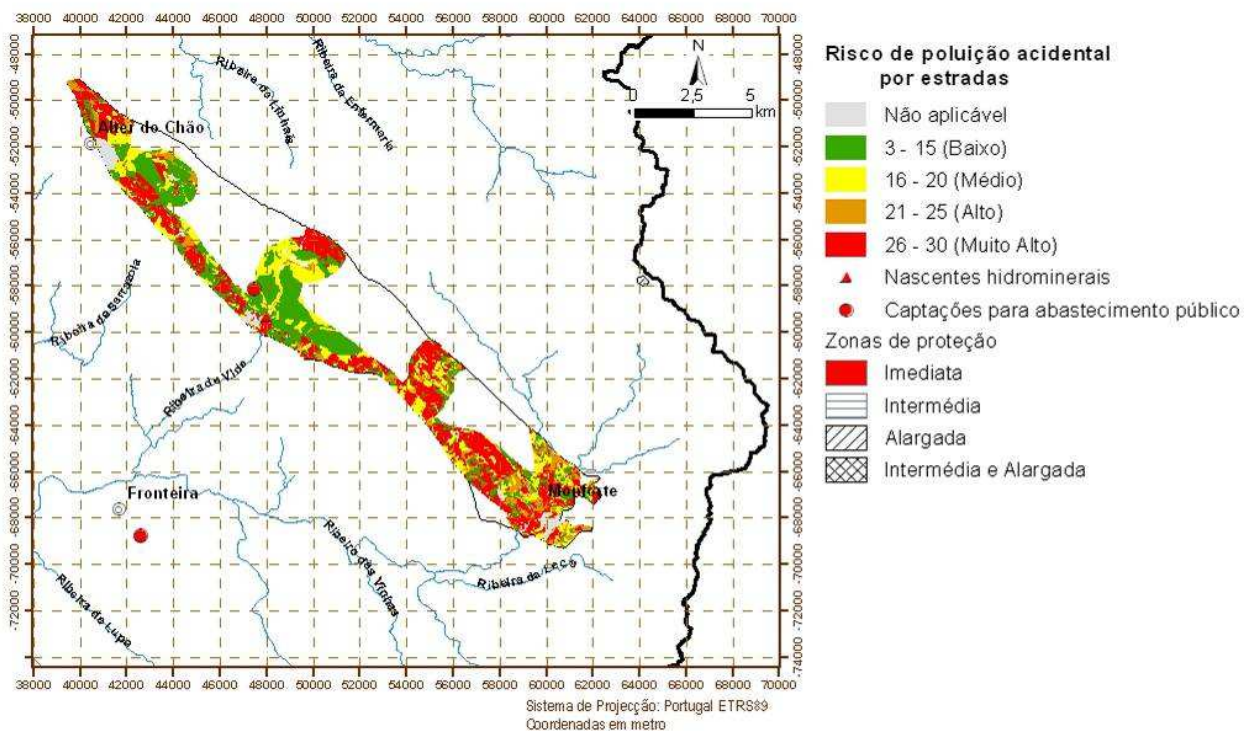


Figura 4.6 – Mapa da classificação do risco de poluição acidental associado a estradas

4.4 PRESSÕES NATURAIS E INCIDÊNCIAS ANTROPOGÉNICAS SIGNIFICATIVAS

4.4.1 Nota introdutória

As pressões levantadas (conforme ao Anexo III, Especificações Técnicas do Lote 2; cf. relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011) para as metodologias de identificação, caracterização e quantificação) foram as seguintes:

- Qualitativas: tópicas e difusas;
- Quantitativas: captações de água.

4.4.2 Poluição tóxica (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)

4.4.2.1 Componente urbana

O levantamento dos TURH de fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo não assinalou quaisquer unidades na massa de águas subterrâneas (Quadro). Considerando a ausência de fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo (segundo o levantamento dos TURH) não foi calculada qualquer carga poluente devida a tais fontes.

Quadro 4.11 – Distribuição das fossas sépticas e ETAR compactas com descarga no solo

Massa de águas subterrâneas	Nº Total de instalações	População servida (hab.)
A3 – Monforte-Alter do Chão	0	0

4.4.2.2 Instalações PCIP

Indústria Transformadora

Da consulta dos TURH e LA efetuada na ARH do Tejo está assinalada uma indústria transformadora na região de Monforte. Contudo, não existem dados permitam o cálculo de cargas, não tendo igualmente sido referenciadas para a massa de água quaisquer Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes associadas que poderão potencialmente contaminar as massas de águas subterrâneas em resultado de acidentes e/ou deposição ilegal.

Aterros sanitários

Na massa de água não estão assinalados aterros sanitários em exploração atual, pelo que não se consideraram as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes associadas a aterros sanitários em exploração. Refira-se contudo a existência de lixeiras encerradas, que serão adiante analisadas.

Indústria extrativa

De acordo com os dados fornecidos pela DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia e pelo LNEG, Laboratório Nacional de Energia e Geologia, na massa de águas subterrâneas não se encontram concessões mineiras ativas. Também não estão inventariadas quaisquer pedreiras ativas. Segundo os dados fornecidos pela EDM, Empresa de Desenvolvimento Mineiro, S.A. e pela DGEG, Direção Geral de Energia e Geologia, estão inventariadas as seguintes indústrias extrativas inativas (Quadro). Na ausência de concessões mineiras ativas e de pedreiras ativas, identificaram-se apenas

as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes associadas a minas inativas (Quadro), tendo em conta as substâncias exploradas.

Quadro 4.12 – Distribuição das minas e pedreiras inactivas

Massa de águas subterrâneas	Minas radioativas		Minas não radioativas		Pedreiras	
	Nº	Substância explorada	Nº	Substância explorada	Nº	Substância explorada
A3 – Monforte-Alter do Chão	0	-	2	Chumbo	0	-

Quadro 4.13 – Minas inactivas: Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes potencialmente presentes

Massa de águas subterrâneas	Minas radioativas	Minas Não Radioativas
A3 – Monforte-Alter do Chão	-	Chumbo

Lixeiras encerradas

De acordo com os dados fornecidos pela APA, o número de lixeiras encerradas na massa de águas subterrâneas apresenta-se no Quadro . Foram assinaladas, no Quadro , as Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes em associação com a lixeira encerrada na massa A3 – Monforte-Alter do Chão.

Quadro 4.14 – Distribuição das lixeiras encerradas

Massa de águas subterrâneas	Nº de lixeiras encerradas
A3 – Monforte-Alter do Chão	1

Quadro 4.15 – Lixeiras encerradas: Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes potencialmente presentes

Massa de águas subterrâneas	Substâncias Prioritárias e Outros Poluentes
A3 – Monforte-Alter do Chão	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; Éter defínílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados

4.4.3 Poluição difusa (impactes associados a casos significativos, existentes e previstos)

4.4.3.1 Adegas, Laticínios, Lagares, Matadouros, Aviculturas e Suiniculturas

De acordo com o levantamento efetuado, não existem unidades com descarga de efluentes no solo. Na ausência de unidades com descarga de efluentes no solo, não foi calculada qualquer carga poluente devida a tais fontes.

4.4.3.2 Boviniculturas

O Quadro apresenta o n.º de boviniculturas na massa de águas subterrâneas, identificadas em conformidade com o levantamento efetuado. O Quadro apresenta as cargas estimadas de Azoto e Fósforo geradas pelas boviniculturas que fazem

espalhamento de estrumes no solo e sua distribuição na massa de águas subterrâneas. Foi ainda estimado o Azoto lixiviado, admitindo uma rotação de 3 anos na área de espalhamento de estrumes e uma perda de 5 kg/ha na área resultante. A utilização de Cobre e Zinco nesta atividade pode levar à eventual contaminação das águas subterrâneas mas, não existindo coeficientes credíveis, apenas se assinalam nas Substâncias Prioritárias e outros poluentes.

Quadro 4.16 – Distribuição das boviniculturas com espalhamento de efluentes no solo

Massa de águas subterrâneas	Boviniculturas	CN	Efetivos	Área de espalhamento (ha)
A3 – Monforte-Alter do Chão	10	1 941,6	2 283	2 605,7

Quadro 4.17 – Cargas geradas pelas das boviniculturas com espalhamento de efluentes no solo

Massa de águas subterrâneas	N total (t/ano)	P total (t/ano)	N lixiviado (t/ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	265,3	111,4	45,3

4.4.3.3 Agricultura

O Quadro apresenta as áreas das culturas agrícolas anuais, permanentes e heterogêneas por massa de águas subterrâneas de acordo com o Corine Land Cover 2006 (CLC2006).

Quadro 4.18 – Distribuição das áreas agrícolas de acordo com o CLC'2006

Massa de águas subterrâneas	Área Agrícola (ha)		
	Anuais	Permanentes	Heterogêneas
A3 – Monforte-Alter do Chão	105	1 433	3 616

No Quadro apresentam-se as cargas estimadas para as atividades agrícolas consideradas.

Quadro 4.19 – Poluição difusa: cargas originada pelas culturas agrícolas

Massa de águas subterrâneas	N (t/ano)	P (t/ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	18,5	3,1

No que toca a Substâncias Prioritárias e outros poluentes, à partida, podem surgir as seguintes em consequência da atividade agrícola:

- Alacloro
- Atrazina
- Aldrina
- Dieldrina
- Endrina
- DDT

- Hexaclorobezeno
- Diurão
- Clorpirifos

4.4.3.4 Campos de Golfe

De acordo com o inventário realizado, não existem registados campos de golfe na área da massa de águas subterrâneas. Deste modo não foi calculada qualquer carga poluente devida a tais fontes.

4.4.4 Resultados globais

No Quadro 4.20 apresentam-se os valores globais obtidos para as cargas de Azoto geradas pelas diferentes atividades analisadas e respetivas percentagens, agrupadas por setores: pecuária, agro-indústria e agricultura.

Quadro 4.20 – Poluição difusa: cargas de Azoto originadas pelos setores da pecuária, agro-indústria e agricultura

Massa de águas subterrâneas	Pecuária		Agro-Indústria		Agricultura		Totais
	N (t/ano)	%	N (t/ano)	%	N (t/ano)	%	N (t/ano)
A3 – Monforte-Alter do Chão	45,3	71,0%	0,0	0,0%	18,5	29,0%	63,8

As Substâncias Prioritárias e outros poluentes, associadas às diferentes atividades económicas, que poderão vir a contaminar as águas subterrâneas em consequência de acidentes e/ou deposição ilegal, são assinalados no Quadro 4.21.

Quadro 4.21 – Poluição tóxica e difusa: substâncias prioritárias e outros poluentes associadas às atividades económicas

Massa de águas subterrâneas	Indústria Transformadora	Aterros sanitários e Lixeiras encerradas	Indústria extrativa	Passivos Ambientais	Golfes e Agricultura	Pecuária
A3 – Monforte-Alter do Chão	-	Benzeno; cádmio, chumbo e mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; Éter defínico bromado e DEHP; Cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados	Chumbo	-	-	Cobre e Zinco

4.4.5 Captações de água subterrânea

O Quadro 4.22 apresenta o n.º de captações de águas subterrâneas, distribuição por volumes e finalidade.

Quadro 4.22 – Captações de água por finalidade e por massa de água

Massa de águas subterrâneas	Abastecimento		Agricultura		Pecuária		Indústria		Turismo		Outras		Total	
	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º	hm ³ /ano	N.º
A3 – Monforte-Alter do Chão	0,2	9	0,1	13	0,0	3	0,0	2	0,0	0	0,2	18	0,5	45

4.4.5.1 Situações existentes ou previstas que podem comprometer os objetivos ambientais

Tendo em conta a análise das fontes de poluição tópica e difusa atrás apresentada e os resultados da avaliação do estado químico das massas de água subterrâneas, indicam-se no Quadro 4.23 as situações existentes que podem pôr em causa o cumprimento dos objetivos ambientais.

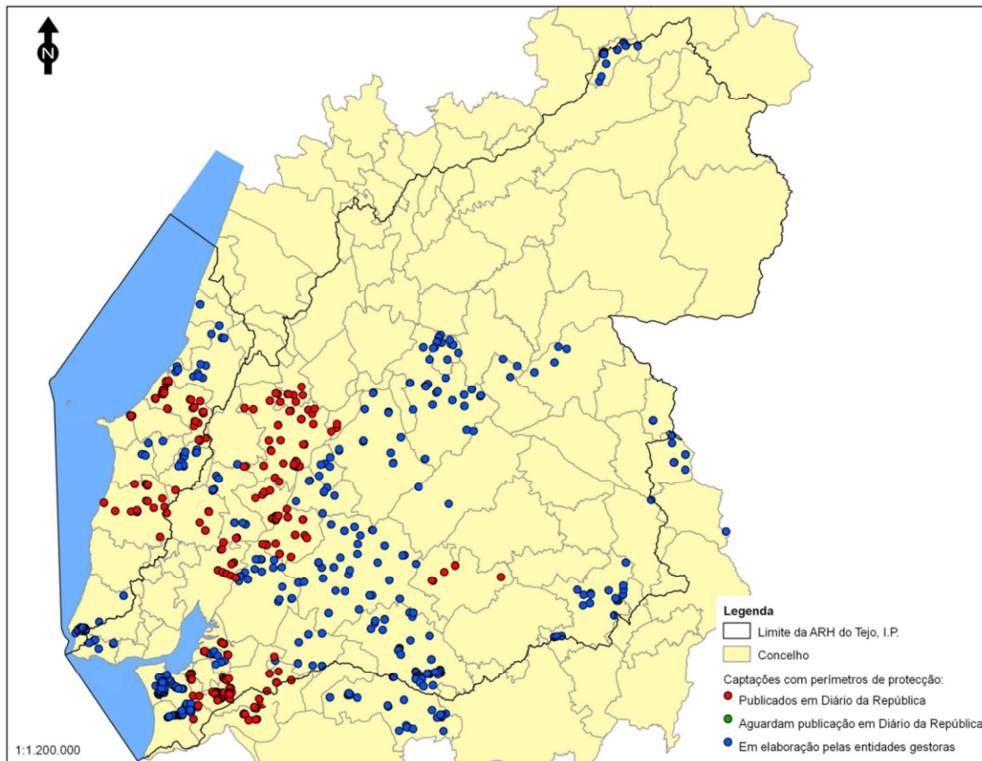
Quadro 4.23 – Estado Químico das massas de águas subterrâneas e fontes de poluição tópica e difusa relacionadas

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o critério do limiar ou NQA?	Resultado do teste	Fontes de poluição relacionados
A3 – Monforte-Alter do Chão	Não: NO ₃ ⁻	● Medíocre	Pecuária; Agricultura; Lixeira encerrada

4.5 ZONAS PROTEGIDAS E ÁREAS CLASSIFICADAS

4.5.1 Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano

Na Figura 4.7 apresentam-se os perímetros de proteção na área do PGRH Tejo, não sendo assinalados quaisquer perímetros na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão.



Fonte: <http://www.arhtejo.pt/web/guest/perimetros-de-proteccao1>, consultado em Julho de 2011

Figura 4.7 – Situação relativa a perímetros de protecção na área do PGRH Tejo

4.5.2 Zonas vulneráveis

Esta massa de águas subterrâneas não está definida como zona vulnerável.

4.5.3 Zonas de máxima infiltração

No Quadro 4.24 apresentam-se os municípios com delimitação de REN municipal aprovada e os respetivos atos administrativos que as publicaram, diferenciando a publicação da primeira delimitação das alterações subsequentes.

Quadro 4.24 – Municípios e actos administrativos que aprovam as respectivas delimitações de REN municipais

Municípios	CCDR	Primeira publicação	Alterações
Alter do Chão	Alentejo	RCM n.º 75/97, de 14 de Maio	RCM n.º 114/2003, de 13 de Agosto
Fronteira	Alentejo	RCM n.º 128/95, de 8 de Novembro	RCM n.º 145/2003, de 13 de Setembro
Monforte	Alentejo	RCM n.º 148/95, de 23 de Novembro	

5. REDE DE MONITORIZAÇÃO

5.1 ESTADO QUANTITATIVO, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

A atual rede de monitorização de quantidade de águas subterrâneas apresenta valores de IR (Índice de Representatividade) abaixo do recomendável (80%; cf. Quadro). No Quadro 5.2 apresentam-se o número de pontos e os índices de representatividade para cada massa de águas subterrâneas; no Quadro 5.2 apresentam-se as características dos pontos da rede. Na Figura 5.1 apresenta-se a rede otimizada de monitorização de vigilância da quantidade das águas subterrâneas.

Quadro 5.1 – Índice de Representatividade para a rede piezométrica

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Tamanho da Célula	Rede Piezométrica	
			N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)
A3 – Monforte-Alter do Chão	97,87	100X100	3	62,9

Quadro 5.2 – Número de pontos da rede de piezometria otimizada e índices de representatividade respectivos

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Tamanho da Célula	N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)
A3 – Monforte-Alter do Chão	97,87	100X100	4	78,5

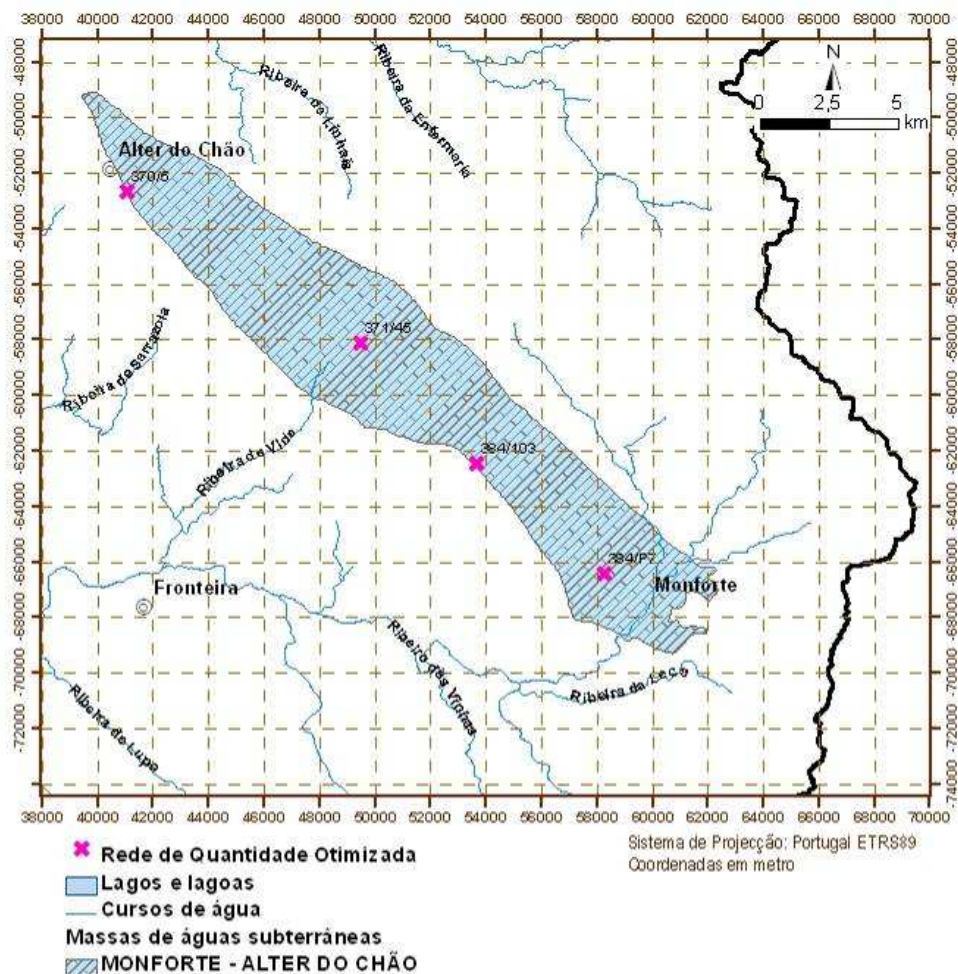


Figura 5.1 – Rede monitorização de quantidade da massa de águas subterrâneas após optimização

5.2 REDE DE VIGILÂNCIA, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

Os pontos da rede de vigilância instalada na massa de água são apresentados na Figura 5.2. A rede de qualidade (vigilância e operacional) apresenta valores de IR (Índice de Representatividade) abaixo do recomendável (80%; cf. Quadro 5.3). O Quadro 5.4 apresenta o número de pontos e os índices de representatividade para a rede otimizada da massa de águas subterrâneas. A Figura 5.3 apresenta a rede de monitorização de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada.

Quadro 5.3 – Índice de Representatividade para as redes de qualidade

Massa de águas subterrâneas	Área (km ²)	Tamanho da Célula	Rede Operacional		Rede de Vigilância	
			N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)	N.º de Estações	Índice de Representatividade (%)
A3 – Monforte-Alter do Chão	97,87	100X100	-	-	9	73,8

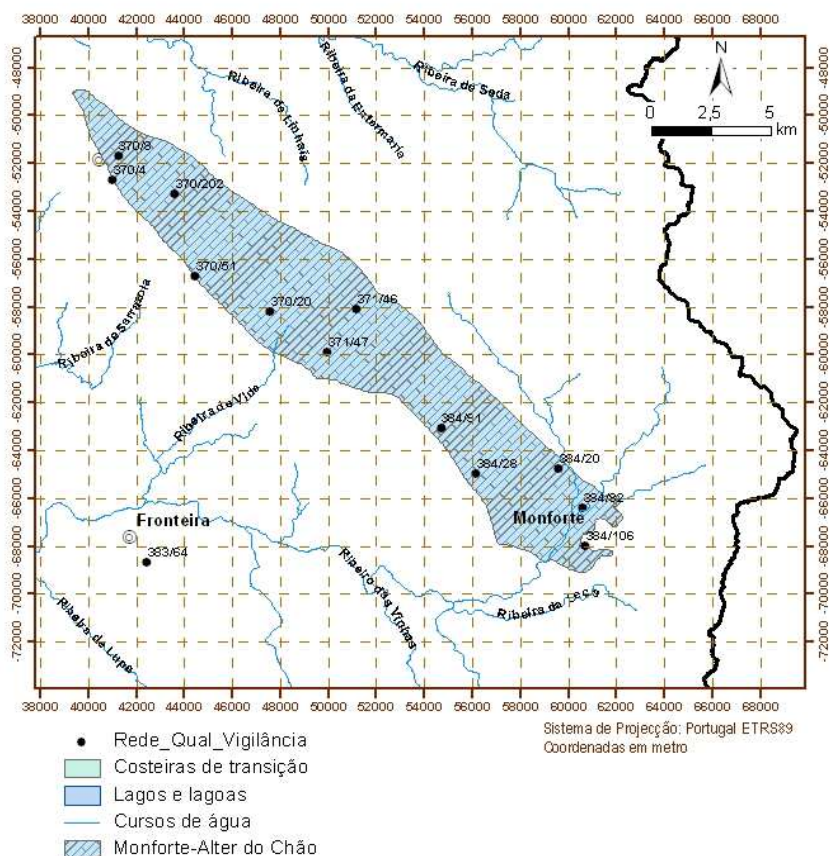


Figura 5.2 – Pontos de monitorização da rede de qualidade na massa de águas subterrâneas

Quadro 5.4 – Número de pontos da rede de vigilância da qualidade das águas subterrâneas otimizada e índices de representatividade respectivos

Massa de Água	N.º de pontos	Índice de Representatividade (%)
A3 – Monforte-Alter do Chão	9	73,8

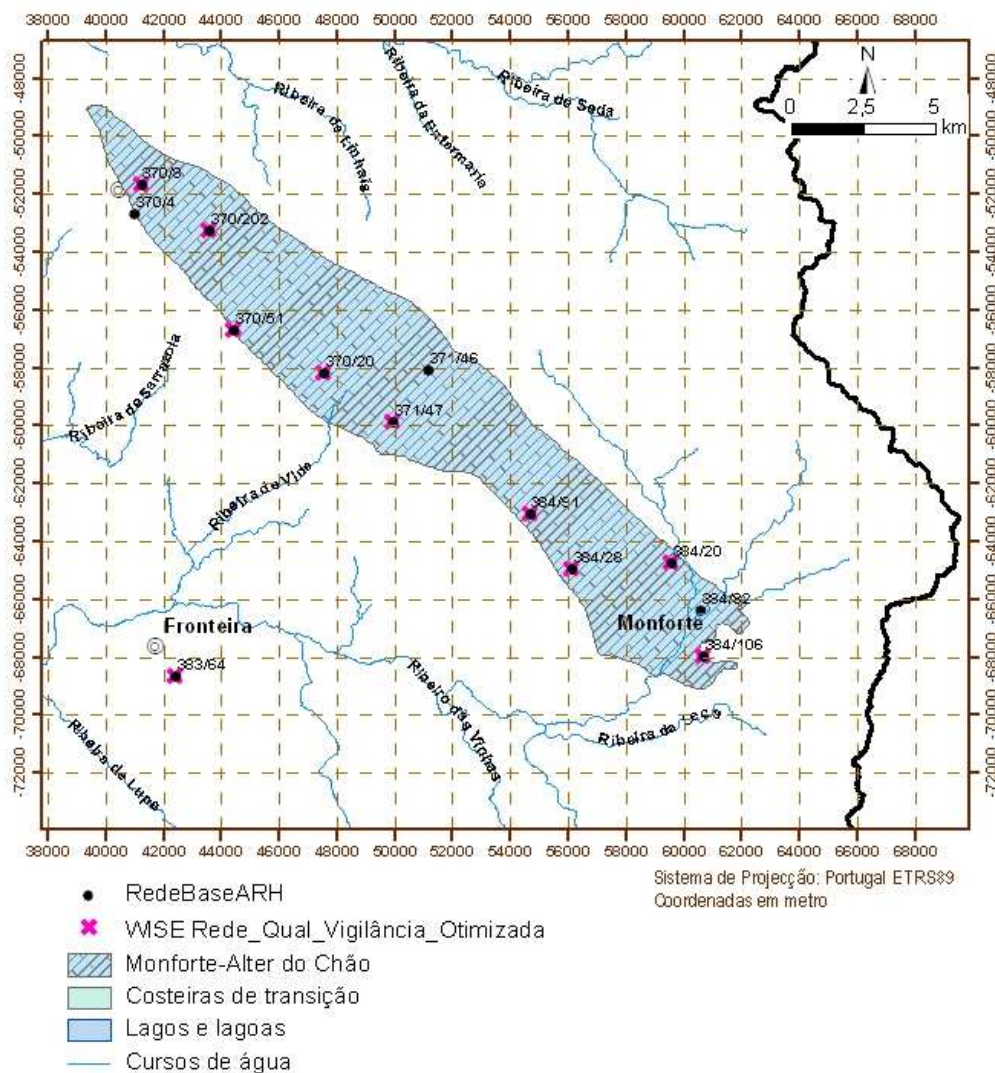


Figura 5.3 – Rede monitorização de vigilância da qualidade de águas subterrâneas após otimização

5.3 REDE DE SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

Até Janeiro de 2011 a massa de água não estava incluída na rede de substâncias perigosas. Quanto à rede de substâncias perigosas, para as lixeiras e os depósitos de resíduos e face aos resultados da qualidade das águas subterrâneas em zonas envolventes de lixeiras propõem-se medidas para alteração das redes de monitorização.

5.4 REDE DE NASCENTES, AVALIAÇÃO DA REPRESENTATIVIDADE, ADEQUABILIDADE E OTIMIZAÇÃO

A rede de monitorização das nascentes inclui neste momento 3 pontos a massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão (Figura 5.4), verificando-se que a cobertura é francamente insuficiente. Atendendo às carências detetadas na rede atual de monitorização de nascentes é proposta a expansão desta das atuais 3 estações para 7, conforme mostra a Figura 5.5. Os critérios utilizados para a escolha dos novos locais foram exclusivamente de carácter hidrogeológico.

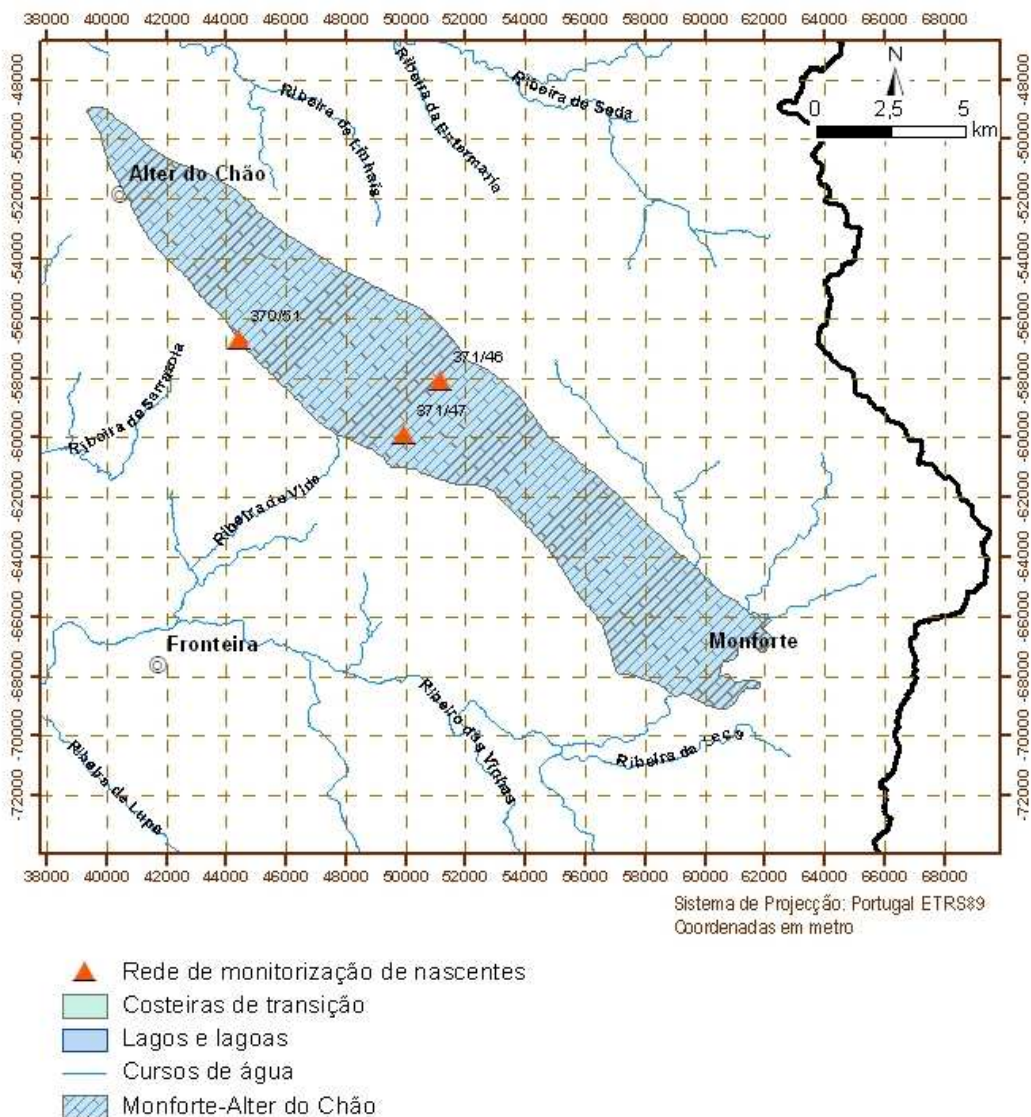


Figura 5.4 – Pontos de monitorização da rede de nascentes

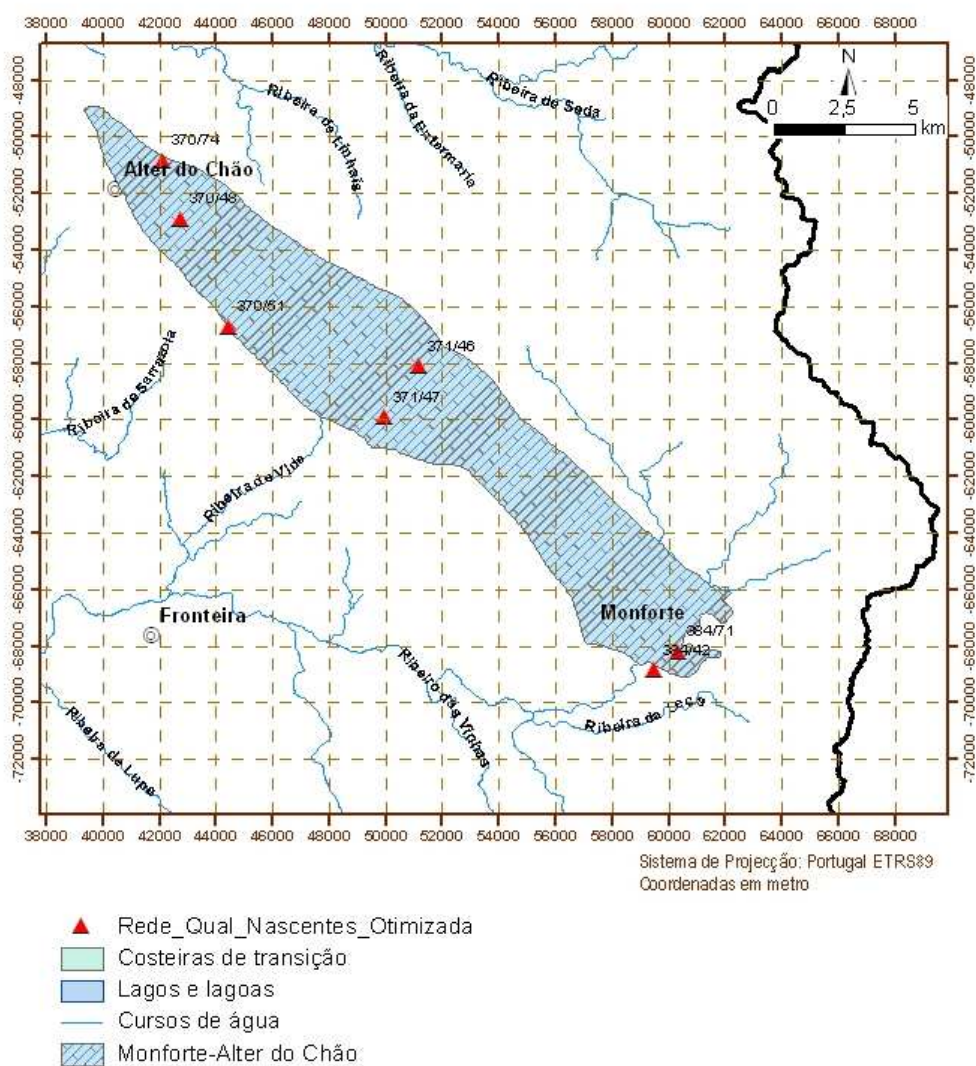


Figura 5.5 – Pontos de monitorização da rede de nascentes após optimização

5.5 ZONAS PROTEGIDAS

5.5.1 Zonas designadas para a captação de água destinada ao consumo humano

Não se encontra justificação neste momento para alterar este controlo.

5.5.2 Zonas vulneráveis e de infiltração máxima

Não estão definidas na legislação zonas vulneráveis na área da massa de água. A rede de monitorização para avaliação de nitratos é apresentada na Figura 5.6, não se encontrando justificação neste momento para alterar este controlo. Não estão definidas redes para as zonas de infiltração máxima na área do PGRH do Tejo.

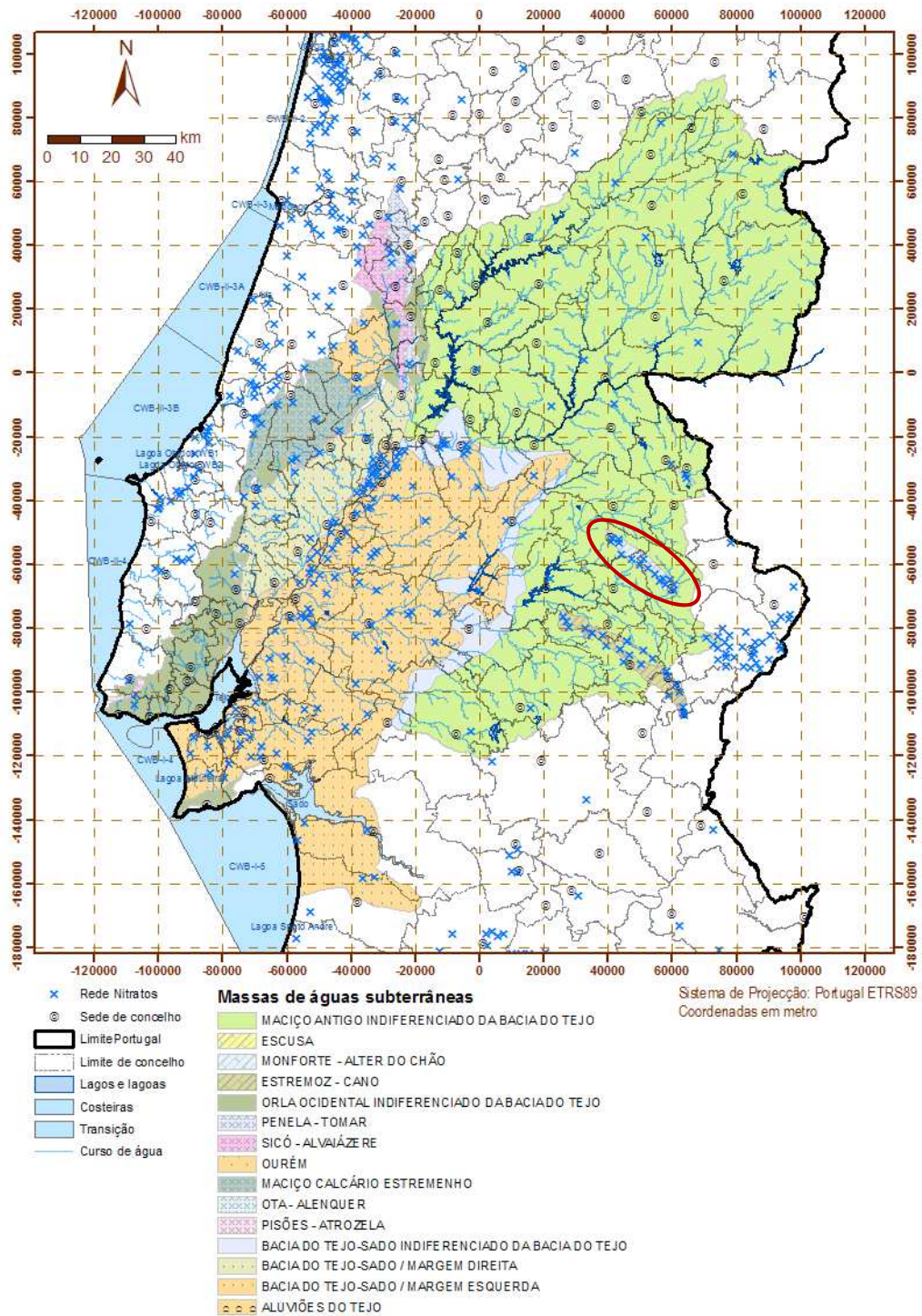


Figura 5.6 – Pontos de monitorização da rede nacional de nitratos na RH5

6. AVALIAÇÃO DO ESTADO DA MASSA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

6.1 ESTADO QUANTITATIVO

O Quadro apresenta a definição do Bom estado quantitativo das águas subterrâneas, segundo a DQA e o Decreto-Lei n.º 77/2006.

Quadro 6.1 – Definição do estado quantitativo (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)

Elementos	Bom estado
Nível freático	<p>O nível da água na massa de águas subterrâneas é tal que os recursos hídricos subterrâneos disponíveis não são ultrapassados pela taxa média anual de captação a longo prazo.</p> <p>Assim, os níveis freáticos não estão sujeitos a alterações antropogénicas que possam:</p> <ul style="list-style-type: none">• impedir que sejam alcançados os objetivos ambientais especificados nos termos dos artigos 44.º e 46.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro (ou do art.º 4.º da DQA), para as águas superficiais que lhe estão associadas;• deteriorar significativamente o estado dessas águas;• provocar danos significativos nos ecossistemas terrestres diretamente dependentes do aquífero. <p>Podem ocorrer temporariamente, ou continuamente em áreas limitadas, alterações na direção do escoamento subterrâneo em consequência de variações de nível, desde que essas alterações não provoquem intrusões de água salgada, ou outras, e não indicam uma tendência antropogenicamente induzida, constante e claramente identificada, suscetível de conduzir a tais intrusões.</p>

As análises de tendências dos níveis piezométricos e do balanço hídrico foram realizadas na secção 3, não tendo sido consideradas suficiente para classificar a massa de águas subterrâneas com o estado medíocre, visto que os dados são insuficientes para avaliar com suficiente confiança as tendências de evolução dos níveis piezométricos ao longo do tempo. A Figura 6.1 representa o resultado da avaliação das tendências de evolução dos níveis piezométricos máximos anuais.

Quanto aos ecossistemas foram identificadas três massas de águas de superfície (MASup) associadas. Para as MASup ribeira Grande PT05TEJ1012 e PT05TEJ1018, os elementos hidromorfológicos não foram classificados quanto ao índice HQA, devido a limitações estatísticas, pelo que não foi possível realizar o teste do escoamento superficial. A MASup ribeira de Vide (PT05TEJ1010) não foi alvo de monitorização pelo que não existem dados disponíveis de avaliação de estado dos elementos hidromorfológicos. Não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes de águas subterrâneas na área de ocorrência desta massa de águas subterrâneas, pelo que não há justificação para a realização do respetivo teste.

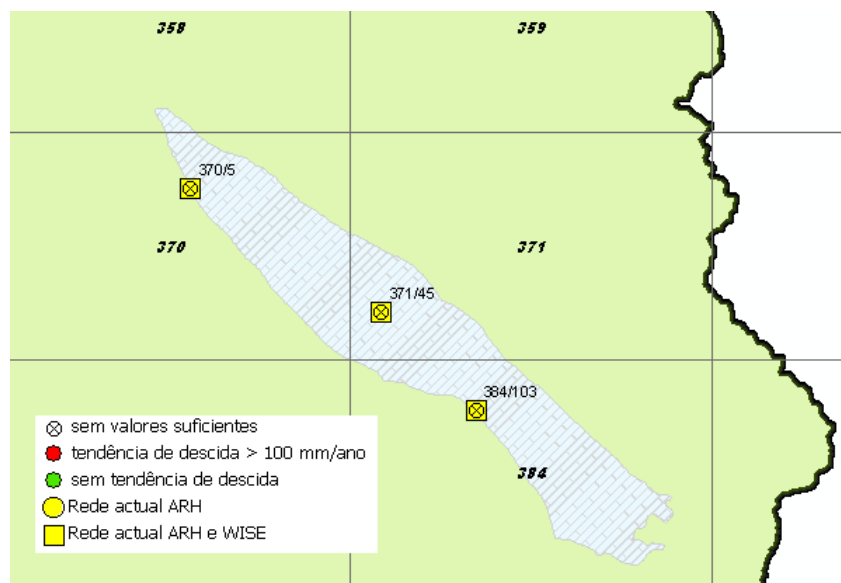


Figura 6.1 – Evolução dos níveis piezométricos na massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

A taxa de exploração calculada para a massa de água é de 15,4% para Monforte-Alter do Chão, de acordo com os resultados do balanço por massa de águas subterrâneas (Quadro 6.2). Embora os valores apresentados encerrem alguma incerteza na sua determinação, considera-se que a diferença apresentada entre a recarga e as extrações é suficientemente grande para o balanço poder ser considerado como excedentário. De acordo com este balanço, e com os resultados dos restantes testes relativos à avaliação do estado quantitativo, opta-se por se classificar o **estado quantitativo** das massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo como “**Bom**” (Figura 6.5).

Quadro 6.2 – Resultados do balanço hídrico

Massas de águas subterrâneas	Recarga BALSEQ		Recarga ARH-Tejo			Necessidades estimadas (hm ³ /ano) ⁽⁵⁾	Consumos inventariados (hm ³ /ano) ⁽⁵⁾	Taxa de exploração % ⁽⁶⁾
	(mm/ ano)	(hm ³ / ano)	% Prec.	% Prec.	(hm ³ / ano)			
A3 – Monforte- Alter do Chão	173 ⁽²⁾	16,96 ⁽²⁾	26	-	-	2,61	0,5	15,4

(2) O volume de recarga apresentado inclui 4 mm/ano ou 0,43 hm³/ano de recarga de água proveniente do escoamento direto das áreas de drenagem da massa de águas subterrâneas.

(5) Estes valores são as necessidades totais satisfeitas pelas águas subterrâneas não tendo sido subtraídos os valores que são devolvidos ao meio hídrico subterrâneo pela infiltração das perdas da água de rega.

(6) Para a taxa de exploração foram utilizados os valores mais restritivos de recarga e mais elevados entre as necessidades e os consumos.

6.2 ESTADO QUÍMICO

O Quadro 6.3 apresenta a definição do Bom estado químico das águas subterrâneas, segundo o Decreto-Lei n.º 77/2006 e a DQA.

Quadro 6.3 – Definição do bom estado químico das águas subterrâneas (Decreto-Lei n.º 77/2006, Anexo V, n.º II, ou DQA, Anexo V, n.º 2)

Elementos	Bom estado
Geral	<p>A composição química da massa de águas subterrâneas é tal que as concentrações de poluentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • conforme especificado adiante, não apresentam os efeitos de intrusões salinas ou outras; • Não ultrapassam as normas de qualidade aplicáveis nos termos de outros instrumentos jurídicos comunitários relevantes de acordo com o artigo 17.º da Diretiva Quadro da Água; • Não são de molde a impedir que sejam alcançados os objetivos ambientais especificados nos termos dos artigos 46.º e 48.º da Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro, para as águas superficiais associadas, nem a reduzir significativamente a qualidade química ou ecológica dessas massas, nem a provocar danos significativos nos ecossistemas terrestres diretamente dependentes da massa de águas subterrâneas. <p>Podem ocorrer temporariamente, ou continuamente em áreas limitadas, alterações na direção do escoamento subterrâneo em consequência de variações de nível, desde que essas alterações não provoquem intrusões de água salgada, ou outras, e não indicam uma tendência antropogenicamente induzida, constante e claramente identificada, suscetível de conduzir a tais intrusões.</p>
Condutividade	As modificações da condutividade não revelam a ocorrência de intrusões salinas ou outras na massa de águas subterrâneas.

A Figura 6.2 apresenta o mapa com a síntese do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte – Alter do Chão, sendo de sublinhar que a ausência de dados para metais pesados, TCE, PCE e pesticidas impede uma avaliação completa do estado químico com base no **critério dos limiares ou das NQA**, pelo que parte da cor verde (estado bom) se pode dever à ausência de dados. Com efeito, em nenhuma das campanhas foram analisados os parâmetros: arsénio, chumbo, cádmio, mercúrio, tricloroetileno, tetracloroetileno e pesticidas, pelo que a análise do estado químico apresentada é limitada e parcial. Há três pontos de monitorização, dos 13 analisados (23,1%), que apresentam valores médios que excedem a NQA do nitrato. Os valores da avaliação dos critérios do teste de avaliação global do estado químico, por ponto de água, desta massa de águas subterrâneas apresentam-se no Quadro 6.5.

O **critério** relativo à percentagem da área ponderada da massa de água em que as normas de qualidade ambiental ou os **limiares** são **excedidos em 20%**, é assim excedido para o parâmetro nitrato. Além de em 23,1% dos pontos o valor médio de NO_3^- ser ultrapassado, também em 21,2% das análises e em sete dos 13 locais analisados (*i.e.* em 53,8% dos pontos) há, pelo menos, uma amostra com nitratos acima dos 50 mgNO_3/L . Os pontos de monitorização 384/102 e 307/8 são dois locais onde os valores de nitratos são sistematicamente ultrapassados em todas as análises realizadas, com valores médios de 73,4 e 62,9 mg/L , respetivamente. Também o

ponto 384/20 é um local com diversos dos resultados de nitratos acima dos 50 mgNO₃/L.

Quadro 6.4 – Síntese da informação utilizada para a avaliação do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

Parâmetro	Unidade	n.º análises	Valor					Análises > norma ou limiar*	
			Mínimo	Máximo	Média	Mediana	CL95	n.º	%
CE	(µS/cm)	103	330	1031,0	635,7	622,0	660,8	0	0
pH		104	6,9	8,5	7,6	7,6	7,5; 7,7	0	0
Nitratos	(mgNO ₃ /L)	104	5,8	115,0	37,4	36,0	41,9	22	21,2
Azoto amoniacal	(mgNH ₄ /L)	86	<0,06	0,16	0,1	<0,04	0,1	0	0
Sulfatos	(mgSO ₄ /L)	103	2,8	82	25,1	20,0	28,0	0	0
Cloretos	(mgCl/L)	111	<0,04	134	30,3	23,0	34,4	0	0
Arsénio	(mgAs/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo	(mgPb/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Cádmio	(mgCd/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Mercúrio	(mgHg/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Tricloroetileno	(µgTCE/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Tetracloroetileno	(µgPCE/L)	0	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas	(µg/L)	0	-	-	-	-	-	-	-

*Para o pH também se avaliou se os valores são menores que o limiar inferior

De acordo com o **teste da avaliação da confiança**, considera-se que os dados são fiáveis, pelo que há motivos para considerar a avaliação efetuada de confiança. O Quadro 6.5 apresenta os resultados finais da avaliação apresentada.

Quadro 6.5 – Resultado da avaliação dos critérios do teste de avaliação global do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

Parâmetro	Critério do Limiar ou NQA	Critério da Percentagem de área	Critério de confiança	Observações
CE	Sim	-	-	-
Ph	Sim	-	-	-
Nitratos	Não	Não	Não	3 dos 13 (23,1%) pontos apresentam média superior à NQA
Azoto amoniacal	Sim	-	-	-
Sulfatos	Sim	-	-	-
Cloretos	Sim	-	-	-
Arsénio	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-
Cádmio	-	-	-	-
Mercúrio	-	-	-	-
Tricloroetileno	-	-	-	-
Tetracloroetileno	-	-	-	-
Pesticidas	-	-	-	-

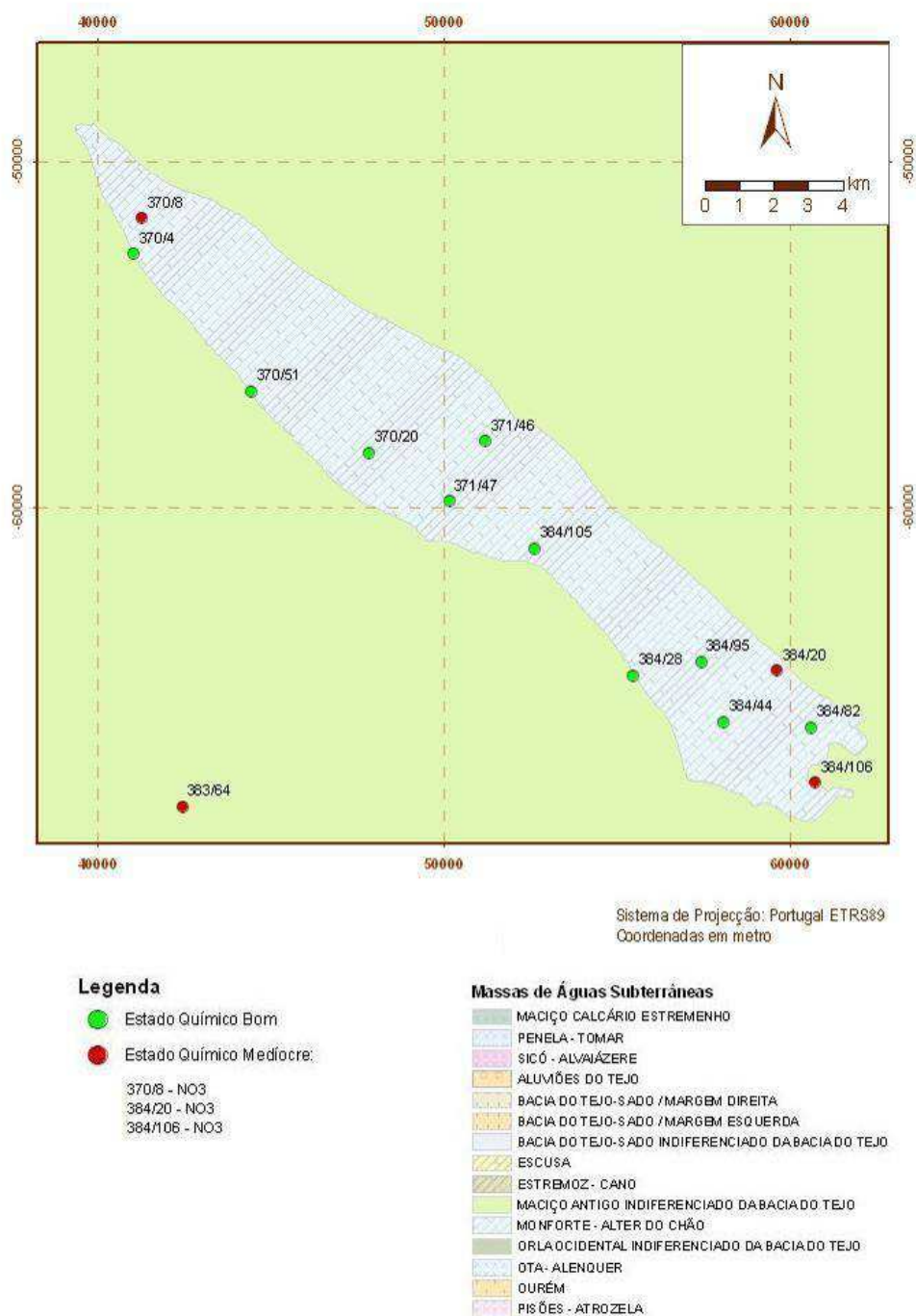


Figura 6.2 – Mapa do estado químico da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão, de acordo com o esquema definido no Anexo VII, 2.5 do DL n.º 77/2006

A informação analisada permite concluir que os nitratos são um problema de poluição, nomeadamente no concelho de Monforte, tendo havido uma tendência crescente das análises realizadas nos anos 70 para os anos 90, com valores no início do século XXI que chegaram a ser superiores a 100 mg/L. Não obstante, para o período em análise

para a caracterização do estado químico foi detetada tendência para descida do ião nitrato, indicador de uma melhoria da qualidade da água neste aquífero, com teores abaixo, ou muito próximos, do limite regulamentar já em diversos pontos.

Para esta massa de águas subterrâneas (MAS) foram identificadas três massas de águas de superfície (MASup) associadas. O estado da MASup ribeira Grande (PT05TEJ1012) foi classificado como bom, enquanto o estado da MASup ribeira Grande (PT05TEJ1018) foi classificado como inferior a bom (estado razoável), encontrando-se os parâmetros responsáveis pela classificação relacionados com a qualidade biológica e com elementos químicos e físico-químicos de suporte aos elementos biológicos – elementos gerais, para os quais a massa de águas subterrâneas não é avaliada. Uma vez que o estado inferior a bom da referida MASup se deve à monitorização de diatomáceas, invertebrados e concentrações de fósforo, considera-se que não existem conhecimentos que permitam definir relações causa-efeito entre o estado qualitativo desta MAS e os elementos de classificação MASup associada. Dado que a MASup ribeira de Vide (PT05TEJ1010) não foi alvo de monitorização, não existem dados disponíveis que permitam estabelecer relações causa-efeito entre o estado qualitativo desta MAS e o estado das MASup associadas. O Quadro 6.6 apresenta os resultados do teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas, realizado para os segmentos das massas de águas superficiais considerados como estando em conexão hidráulica com esta massa de águas subterrâneas. Não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes de águas subterrâneas na área de ocorrência desta massa de águas subterrâneas, pelo que não há justificação para a realização do respetivo teste.

Quadro 6.6 - Teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas para a massa de águas subterrâneas A3 – Monforte-Alter do Chão

Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o critério do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o critério do limiar ou NQA com risco para MASup?	Cumprido o critério da % de contribuição da carga poluente para a MASup?	Resultado do teste
PT05TEJ1010	PTRIVSEG2769	Sem dados ¹	-		Sem dados
PT05TEJ1012	PTRIVSEG2779	Sem dados ¹	-		Sem dados
PT05TEJ1012	PTRIVSEG2780	Sem dados ¹	-		Sem dados
PT05TEJ1018	PTRIVSEG2797	Sem dados	-		Sem dados

- Não aplicável.

¹ A avaliação de estado desta massa de águas superficiais ainda se encontra em desenvolvimento.

Em síntese, o **estado químico atual desta massa de água é medíocre**, em consequência do parâmetro nitrato, tendo sido considerada a sua extensão superior a 20% face à percentagem de locais e de análises afetados. Deve ser acompanhada esta situação e analisada a necessidade de novas medidas para continuar a tendência significativa de descida dos nitratos, até ser atingido o estado químico bom.

Com efeito os resultados da análise das pressões e dos seus impactes na qualidade das águas subterrâneas permitem determinar que a massa de águas subterrâneas Monforte-Alter do Chão está em risco de não vir a cumprir os objetivos de qualidade da água definidos na Diretiva-Quadro da Água, pois apresenta:

- Estado Químico medíocre para: NO_3^-
- Tendência de descida de: NO_3^-

O único parâmetro cuja concentração média se encontra acima da NQA, em três pontos de monitorização, é o nitrato, com 23,1% da massa afetada (cf. Figura 6.3), sendo o valor da mediana de 36 mgNO₃/L. Regista-se a ausência de informação para metais pesados, TCE, PCE e pesticidas, facto que pode encobrir outras situações de incumprimento. São os setores periféricos, com unidades carbonatadas, onde as concentrações se mostram elevadas. O setor SE é aquele onde as concentrações estão muito próximas dos 50 mgNO₃/L em quase todos os pontos com análises. No setor NW, apenas o furo junto a Alter do Chão apresenta valores elevados.

O fluxo nesta massa de águas subterrâneas dá-se, à escala regional, para SW, exceto no extremo sul do sistema, em que se dirige para SE, e no extremo norte, em que a direção toma um rumo S-SE (Almeida *et al.*, 2000; Fernandes, 2001; secção 2.3). As pressões localizadas a montante dos pontos de água analisados (Figura 6.3), potencialmente responsáveis pelo estado medíocre resultante da presença de nitrato, são essencialmente as atividades agropecuárias (responsáveis pela entrada de cerca de 5,6 tonN/km²/ano, constituindo a massa de água com maior pressão destes setores com cerca do dobro da carga por km² das aluviões do Tejo). As pressões nesta massa de águas subterrâneas são:

- Atividade agrícola, responsável pela entrada de 2,90 tonN/km²/ano;
- Bovinicultura, responsável pela entrada de 2,71 tonN/km²/ano;
- Fossas sépticas, nomeadamente de Monforte e de Alter do Chão;
- Lixeira encerrada de Monforte, onde se observa a presença de uma lagoa que poderá facilitar sobremaneira a entrada de poluentes no meio carbonatado (os potenciais poluentes são: benzeno; cádmio, chumbo e

mercúrio e outros metais pesados; antraceno, fluoranteno e outros PAH; éter defínílico bromado e DEHP; cianetos, fenóis e compostos orgânicos halogenados).

Os objetivos e medidas de base propostos no próximo capítulo 5 vão no sentido de permitir restabelecer o bom estado de qualidade, visando o cumprimento dos objetivos estratégicos e ambientais. Estas medidas permitirão melhorar as concentrações em nitratos que já mostram uma tendência estatisticamente significativa de descida. Uma das medidas a adotar passa também pela adequação da rede de qualidade, nomeadamente visando incluir outros parâmetros, como metais pesados, TCE, PCE e pesticidas, o que poderá vir a diagnosticar outras questões.

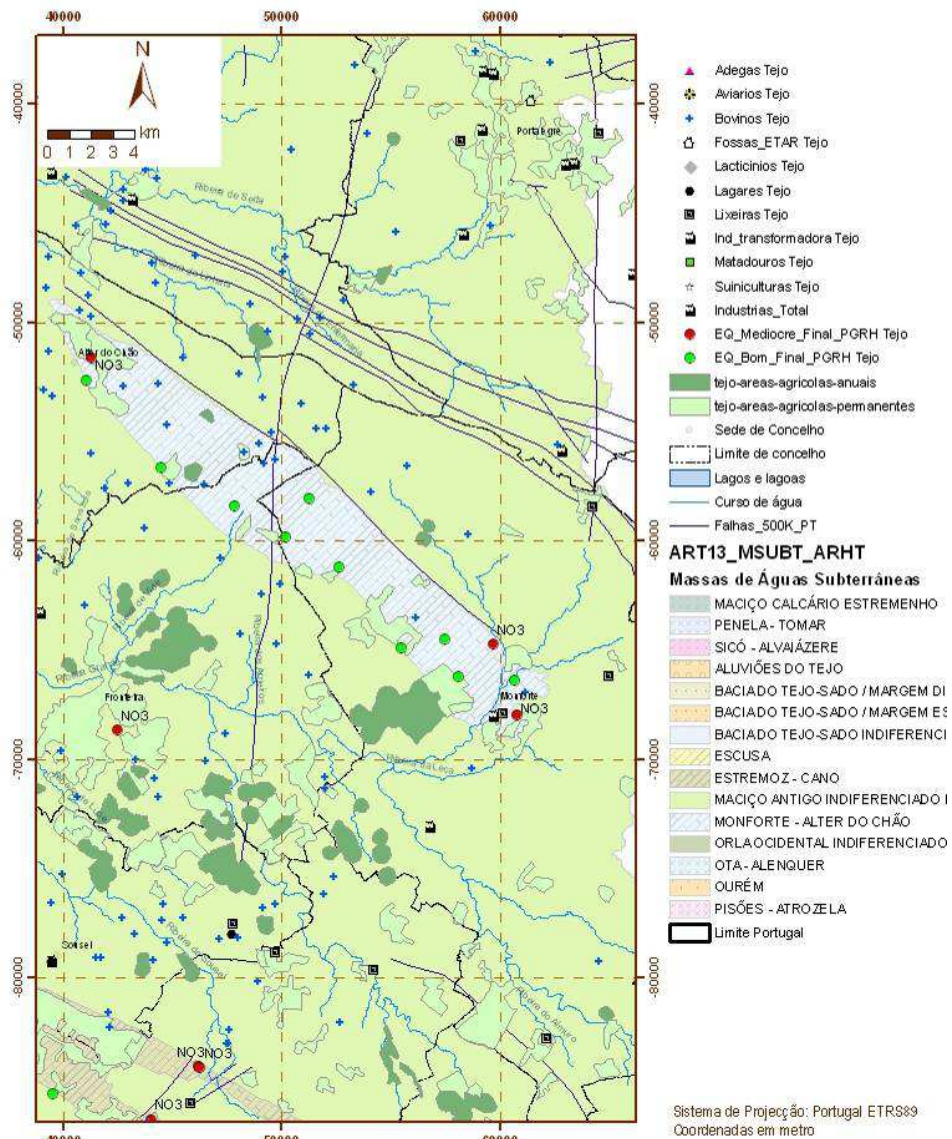


Figura 6.3 – Pressões e estado químico associados à massa de águas subterrâneas de Monforte – Alter do Chão

O Quadro 6.7 sintetiza a análise realizada incluindo, além dos casos em que o estado químico é medíocre, todos os outros casos em que nalgum ponto se detetou que a média de um elemento ultrapassou a sua norma de qualidade ambiental ou o seu limiar de qualidade. Em qualquer um destes casos indica-se, com base na análise das fontes de poluição tópica e difusa, as situações existentes que podem pôr em causa o cumprimento dos objetivos ambientais.

Quadro 6.7 – Estado Químico da massa de águas subterrâneas e fontes de poluição tópica e difusa com impacte

Nome	Cumprido o critério do limiar ou NQA?	Resultado do teste	Setores relacionados
A3 - Monforte - Alter do Chão	Não: NO ₃ ⁻	● Medíocre	Pecuária; agricultura; lixeiras encerradas; fossas sépticas, bovinicultura

6.3 TENDÊNCIAS CRESCENTES SIGNIFICATIVAS E PERSISTENTES NA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES

A síntese da análise é apresentada no Quadro 6.8. Para os parâmetros mercúrio, tricloroetileno, tetracloroetileno, e pesticidas totais não existe informação em quantidade e frequência suficiente para cumprir os critérios de análise indicados acima. A avaliação de tendências na massa de águas mostra que foi detetada tendência para descida do ião nitrato, indicador de uma melhoria da qualidade da água neste aquífero que, no início do século XXI, chegou a apresentar valores superiores a 100 mg/L, enquanto neste momento os teores estão abaixo, ou muito próximo, do limite regulamentar.

Quadro 6.8 – Análise de tendências

Massa de águas subterrâneas	As	NH ₄ ⁺	Cd	Pb	Cl ⁻	CE	Hg	NO ₃ ⁻	pH	SO ₄ ²⁻	TCE	PCE	Pest. Totais
A3 – Monforte-Alter do Chão	-	●	-	-	●	●	-	↓ (0,0319)	●	●	-	-	-

↓: tendência estatisticamente significativa de descida ($\alpha=0,05$) – entre parênteses é indicado o valor de p;

●: sem tendência estatisticamente significativa de subida ou descida ($\alpha=0,05$);

-: dados insuficientes para realizar o teste.

6.4 SÍNTESE

As Figura 6.4 e Figura 6.5 apresentam, respetivamente, o mapa do estado químico e o mapa do estado quantitativo das massas de águas subterrâneas do PGRH Tejo. Nos Quadro 6.9 a Quadro 6.12 apresenta-se a síntese do diagnóstico das águas subterrâneas na massa de águas subterrâneas, de acordo com os testes cuja

metodologia foi descrita no relatório LNEC 289/2011 (Lobo Ferreira et al., 2011). A situação quanto ao risco passou do representado na Figura 6.6 para a Figura 6.7.

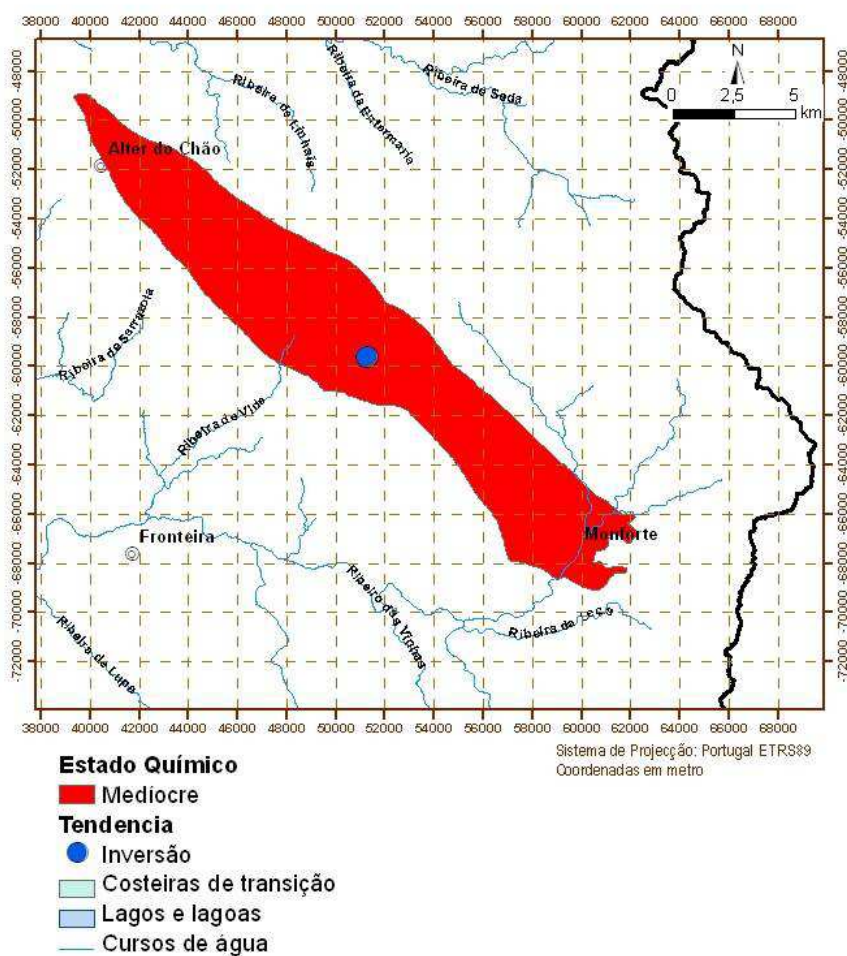
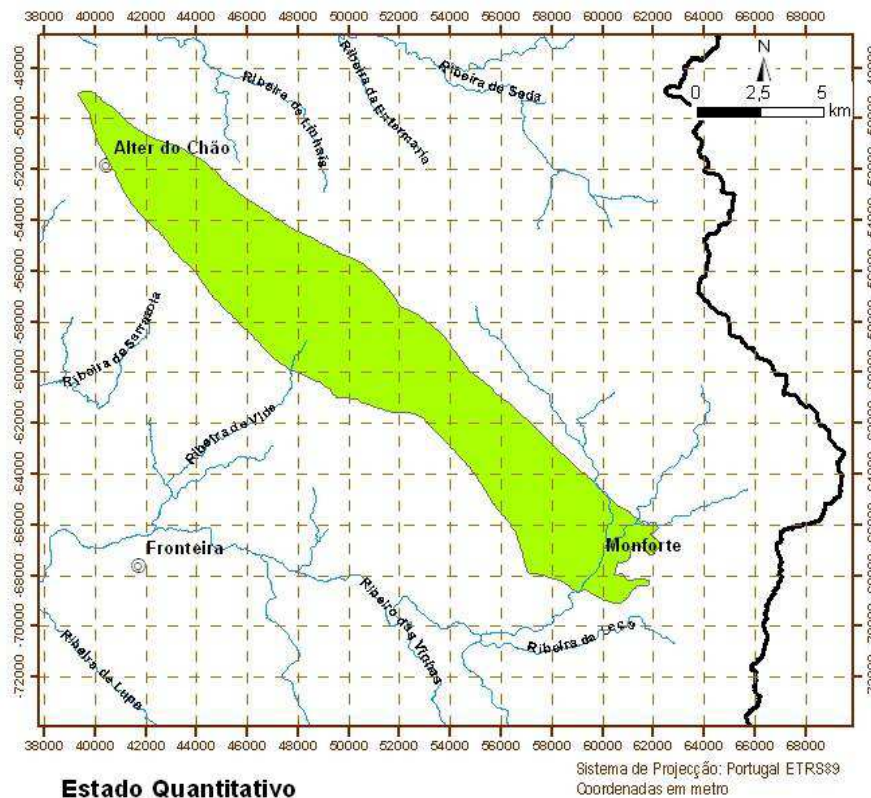


Figura 6.4 – Estado químico e tendências significativas e constantes da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão (bola preta: tendência crescente; bola azul: inversão de tendência)



- Estado Quantitativo**
- Bom
 - Costeiras de transição
 - Lagos e lagoas
 - Cursos de água

Figura 6.5 – Estado quantitativo da massa de águas subterrâneas de Monforte-Alter do Chão

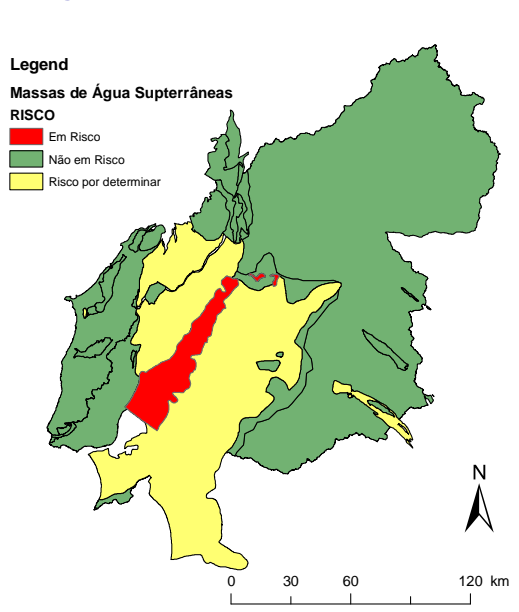


Figura 6.6 – Massas de águas subterrâneas em risco, antes do PBH Tejo

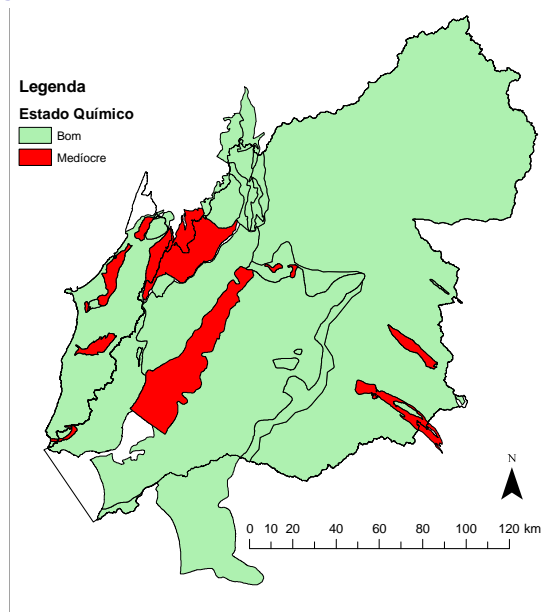


Figura 6.7 – Massas de águas subterrâneas em risco, após do PBH Tejo

Quadro 6.9 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação global do estado químico

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA?	Cumprido o <u>critério</u> de 20% de área?	Cumprido o <u>critério</u> da confiança?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	Não: NO ₃ ⁻	Não: NO ₃ ⁻	Não: NO ₃ ⁻	● Medíocre

Quadro 6.10 - Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o <u>critério</u> das pressões quantitativas?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar (Cl ⁻ , CE e SO ₄ ²⁻)?	Cumprido o <u>critério</u> das tendências?	Cumprido o <u>critério</u> de ausência de impacte significativo num ponto de extração?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	Sim	Sim	-	-	● Bom

- Não aplicável.

Quadro 6.11 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da diminuição da qualidade química ou ecológica das massas de águas de superfície associadas

Massa de águas subterrâneas	Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA com risco para MASup?	Cumprido o <u>critério</u> da % de contribuição da carga poluente para a MASup?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	PT05TEJ1010	PTRIVSEG2769	Sem dados ³	-	-	Sem dados
	PT05TEJ1012	PTRIVSEG2779	Sim	-	-	● Bom
		PTRIVSEG2780	Sim	-	-	● Bom
	PT05TEJ1018	PTRIVSEG2797	Sem dados ⁴	-	-	Sem dados

- Não aplicável.

³ Esta massa de água superficial não foi alvo de monitorização pelo que não existem dados disponíveis que permitam estabelecer relações causa-efeito entre o estado qualitativo desta massa de águas subterrâneas e o estado da massa de águas superficiais associada.

⁴ Uma vez que o estado inferior a bom da massa de águas superficiais se deve à monitorização ecológica e/ou dos elementos químicos e físico-químicos de suporte aos elementos biológicos – elementos gerais para os quais a massa de águas subterrâneas não é avaliada, considera-se que não existem conhecimentos que permitam definir relações causa-efeito entre o estado qualitativo desta massa de águas subterrâneas e o elemento de classificação ecológica da massa de águas superficiais associada.

Quadro 6.12 – Avaliação do Estado Químico da massa de águas subterrâneas: teste da degradação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	ETDAS	Cumprido o <u>critério</u> do Bom Estado dos ETDAS?	Cumprido o <u>critério</u> do limiar ou NQA com potencial dano do ETDAS?	Cumprido o <u>critério</u> dos danos causados no ETDAS?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	- ²	-	-	-	-

- Não aplicável.

² Para esta massa de águas subterrâneas não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas.

Quadro 6.13 - Análise dos critérios e dos testes do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do balanço hídrico subterrâneo

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o critério de não descida dos níveis piezométricos?	Cumprido o critério da extração anual média < disponibilidade anual média?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	Sem dados	Sim	● Bom

Quadro 6.14 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste do escoamento superficial

Massa de águas subterrâneas	Massa de águas superficiais	Segmento da massa de águas superficiais associado	Cumprido o critério do Bom Estado das MASup associadas?	Cumprido o critério da causa significativa?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	PT05TEJ1010	PTRIVSEG2769	Sem dados ³	-	Sem dados
	PT05TEJ1012	PTRIVSEG2779	Sem dados ²	-	Sem dados
		PTRIVSEG2780	Sem dados ²	-	Sem dados
	PT05TEJ1018	PTRIVSEG2797	Sem dados ²	-	Sem dados

- Não aplicável.

² Os elementos hidromorfológicos da massa de águas superficiais associada a esta massa de águas subterrâneas não foram classificados quanto ao índice HQA, devido a limitações estatísticas, pelo que não foi possível realizar o teste do escoamento superficial.

Quadro 6.15 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da avaliação dos ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas

Massa de águas subterrâneas	ETDAS	Cumprido o critério do Bom Estado dos ETDAS?	Cumprido o critério das condições ambientais?	Cumprido o critério do afastamento das condições ambientais devido a extrações?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	- ²	-	-	-	-

- Não aplicável.

² Para esta massa de águas subterrâneas não foram identificados ecossistemas terrestres dependentes das águas subterrâneas.

Quadro 6.16 - Avaliação do Estado Quantitativo da massa de águas subterrâneas: teste da intrusão salina

Massa de águas subterrâneas	Cumprido o critério das pressões quantitativas?	Cumprido o critério do limiar (Cl ⁻ , CE e SO ₄ ²⁻)?	Cumprido o critério das tendências?	Cumprido o critério de ausência de impacte significativo num ponto de extração?	Resultado do teste
A3 – Monforte-Alter do Chão	Sim	Sim	-	-	● Bom

- Não aplicável.

ANEXO 2 – RESULTADOS DA MODELAÇÃO DA VARIANTE 2 DO MODELO REGIONAL DE FLUXO DIVIDINDO A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE TODAS AS ZONAS DO MODELO POR 10

